



**Ricardo Jorge Martins
Tavares da Cruz**

**Plataforma de informação de desempenho para a mobilidade
ciclável**



**Ricardo Jorge Martins Tavares
da Cruz**

**Plataforma de informação de desempenho para a
mobilidade ciclável**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica da Doutora Margarida Coelho, Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro, e do Doutor Jorge Bandeira, Doutoramento de Nível 1 da Universidade de Aveiro

Esta dissertação teve o apoio dos projetos
UID/EMS/00481/2019-FCT - FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia;
CENTRO-01-0145-FEDER-022083 - Programa Operacional Regional do Centro (Centro2020), através do Portugal 2020 e do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional
@CRUISE (PTDC/EMS-TRA/0383/2014), financiado no âmbito do Projeto 9471 - Reforçar a Investigação, o Desenvolvimento Tecnológico e a Inovação (Projeto 9471 - RIDTI) e participado pelo Fundo Comunitário Europeu FEDER;
MobiWise (POCI-01-0145-FEDER-016426);
DICA-VE (POCI-01-0145-FEDER-029463).

Dedicado aos meus pais por todo o esforço que fizeram por
forma a permitirem a minha formatura

o júri

presidente

Prof. Doutor Carlos Alberto Moura Relvas

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

arguente

Prof. Doutor Joaquim Miguel Gonçalves Macedo

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

orientadora

Prof. Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho

Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Ao longo do meu percurso académico na Universidade de Aveiro, tive de o prazer de aprender e discutir ideias com excelentes professores e colegas do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica.

Início os meus agradecimentos pela minha orientadora, Doutora Margarida Coelho e pelo meu coorientador, o Doutor Jorge Bandeira pelos esforços que moveram em prol do aperfeiçoamento desta dissertação, pelo incalculável conhecimento transmitido, pela ininterrupta motivação e ideias que me deram, pelas variadas revisões que efetuaram neste documento e por último, mas não menos importante, por toda a cumplicidade e bom ambiente que proporcionaram no decurso da elaboração desta dissertação.

Agradeço também ao Doutor Paulo Fernandes, investigador do Departamento de Engenharia Mecânica na área dos transportes por toda a ajuda fornecida, nomeadamente, ideias e sugestões de interpretação e melhoramento do tratamento de dados.

Agradeço ao professor José Maria Fernandes do IEETA por toda a disponibilidade e apoio prestados, tanto na cedência do equipamento *Vital Jacket* para medição do batimento cardíaco, como na ajuda prestada na interpretação dos resultados obtidos.

Agradeço ao Engenheiro Tiago Bastos do IEETA por toda a disponibilidade e apoio prestados no tratamento de dados relativos ao equipamento *Vital Jacket*, bem como pelas sugestões na apresentação dos mesmos.

Gostaria ainda de agradecer a todos os meus amigos chegados, em especial ao Daniel Silva, Daniel Santos, Rui Sousa e Cláudia Paiva, por toda a amizade, companheirismo e força que me proporcionaram contribuindo desta forma com energia positiva para a elaboração deste documento.

Por fim, pretendo agradecer a todos os meus familiares mais próximos, em especial à minha Mãe, Pai e Irmã pelo constante apoio fornecido, por toda a compreensão nos dias menos bons e por todo o amor que me deram no decorrer da elaboração da tarefa árdua que é a dissertação.

palavras-chave

Mobilidade urbana, Monitorização em estrada, Bicicleta, SIG, Rede ciclável.

resumo

Em Portugal, o setor dos transportes é um dos principais responsáveis pelas elevadas emissões de gases com efeito de estufa. O aumento do tráfego nas cidades tem levado a problemas de congestionamento, com consequências negativas no meio ambiente e na qualidade de vida das populações.

Em cidades onde se verifica que o uso da bicicleta começa a ter uma expressão acentuada como meio de transporte pendular ou em ocupação recreativa, o planeamento e gestão da rede ciclável necessita ainda de dados sobre a sua real utilização. Apesar da teoria e das boas práticas de outras cidades darem informação acerca da criação de boas soluções de infraestruturas viárias, nem sempre existe uma resposta adequada da parte do planeamento e gestão municipal para os utilizadores de bicicleta em meio urbano, particularmente por falta de informação existente relativa aos percursos que estes escolhem e às necessidades que reivindicam. Dessa forma, surge a necessidade de interação entre as Câmaras Municipais e os utilizadores de bicicleta, de maneira a compreender as suas necessidades e poder realizar um planeamento da rede ciclável tendo por base os dados fornecidos pelos utilizadores.

Assim, esta dissertação de mestrado tem como principal objetivo a integração de equipamentos de monitorização experimental de uma bicicleta e do respetivo utilizador, no que diz respeito à escolha do melhor percurso na cidade, considerando como fatores primordiais o tempo associado à realização dos percursos, o dispêndio de energia e o número de ultrapassagens que o ciclista sofre durante a sua realização.

Os locais de interesse para aplicação deste sistema são as cidades de Aveiro e Porto, cidades amplamente distintas no que concerne a este meio de transporte. Por um lado, temos Aveiro, que é a sub-região de Portugal com mais utilizadores de bicicleta, apresentando uma taxa de utilização de 3,9%, cerca de oito vezes superior à média nacional que fica nos 0,5%. Por outro lado, a cidade do Porto tem um valor muito baixo, cerca de 0,6%.

Durante as 13,4 horas de monitorização, verificou-se que na cidade de Aveiro os modos positivos de BSP representaram 71% do tempo total associado à realização dos percursos e para o Porto 74,5%, pelo que indica que é requerido ao ciclista esforço físico em cerca de $\frac{3}{4}$ do tempo.

No que se refere ao batimento cardíaco, verificou-se que o aumento deste, durante a realização dos percursos, é 40,2% inferior para a cidade de Aveiro face ao Porto, o que indica que a utilização de bicicleta em Aveiro é do ponto de vista físico menos exigente, uma vez que o ciclista na cidade do Porto obtém um valor de batimento cardíaco no final da viagem cerca de 2,1 vezes superior ao seu batimento cardíaco inicial, enquanto que em Aveiro, o valor final obtido é apenas 1,3 vezes superior ao valor inicial.

No que respeita ao consumo de energia, verificou-se que os percursos em Aveiro apresentaram um valor médio de 116,2 Wh e no Porto de 199,2 Wh, sendo este último cerca de 72% superior ao obtido para os percursos em Aveiro. Por último, realizou-se uma análise de conflitos entre ciclistas e automobilistas, verificando-se que o ciclista na cidade de Aveiro era ultrapassado em média cerca de 104 vezes por percurso e no Porto aproximadamente 239 vezes.

keywords

Urban mobility, On-road monitoring, Bicycle, GIS, Cycling network.

abstract

In Portugal, the transport sector is one of the main responsible for the high emissions of greenhouse gases. The increase in traffic in cities has led to congestion problems, with negative consequences on the environment and on people's quality of life.

In cities where it is found that the use of the bicycle begins to have a pronounced expression as a means of commuting or in recreational use, planning and management of the cycling network still requires data on its actual use. Although the theory and good practices of other cities give information on the creation of good road infrastructure solutions, there is not always an adequate response from municipal planning and management for urban bicycle users, particularly for lack of existing information concerning the routes they choose and the needs they claim. In this way, there is a need for interaction between the City Councils and bicycle users, in order to understand their needs and to be able to carry out cycling network planning based on the data provided by the users.

Thus, this master's dissertation has as main objective which is the integration of equipment of experimental monitoring of a bicycle and of its user, with respect to the choice of the best route in the city, considering as primordial factors the time associated with the accomplishment of the routes, the expenditure of energy and the number of overtaking that the cyclist suffers during its accomplishment.

The places of interest for the application of this system are the cities of Aveiro and Porto, widely different cities as far as this means of transport is concerned. On the one hand, we have Aveiro, which is the sub-region of Portugal with more bicycle users, with a utilization rate of 3.9%, about eight times higher than the national average of 0.5%. On the other hand, the city of Porto has a very low value, about 0.6%.

During the 13.4 hours of monitoring, it was verified that in the city of Aveiro the positive modes of BSP represented 71% of the total time associated to the realization of the routes and in Porto 74.5%, so that indicates that the cyclist is required physical effort at about $\frac{3}{4}$ of the time.

Regarding the heart rate, it was verified that the increase of this, during the accomplishment of the routes, is 40,2% lower for the city of Aveiro than Porto, which indicates that the use of bicycle in Aveiro is of the point of less demanding physical sight, since the cyclist in the city of Porto obtains a value of heart beat at the end of the trip about 2.1 times superior to his initial heart rate, whereas in Aveiro, the final value obtained is only 1,3 times the initial value.

About energy consumption, it was found that the routes in Aveiro had an average value of 116.2 Wh and in the Port of 199.2 Wh, the latter being about 72% higher than that obtained for the routes in Aveiro.

Lastly, an analysis of conflicts between cyclists and motorists was carried out, where a cyclist in the city of Aveiro is overtaken about 104 times per route and in Porto approximately 239 times, which is indicative of the higher density of traffic and therefore less safety for bicycle users.

Índice

agradecimentos.....	v
resumo.....	vi
abstract.....	vii
Lista de Figuras.....	x
Lista de Tabelas.....	xiii
Lista de Equações	xv
Lista de Abreviaturas	xvi
1. Introdução.....	19
1.1 Enquadramento do tema.....	19
1.2 Objetivos.....	24
1.3 Estrutura da Dissertação.....	25
2. A Mobilidade em Bicicleta, o Planeamento da Rede Ciclável e a Modelação de Trajetos	27
2.1.1 Políticas públicas orientadas para a promoção dos modos suaves	27
2.1.2 Crescimento da bicicleta como modo de transporte	29
2.2 Aquisição de dados sobre utilização de bicicleta e soluções tecnológicas.....	35
2.2.1 Os ciclistas e os critérios na escolha de percursos	36
2.2.2 O papel das ferramentas de planeamento de percursos – Bike Route Planners	40
2.2.3 Análise comparativa de ferramentas disponíveis	40
2.2.4 Os SIG como ferramenta de apoio à gestão da mobilidade urbana	44
2.3 Informação de suporte à gestão da mobilidade urbana	47
3. Metodologia.....	51
3.1 Aferição dos critérios de interesse na escolha de rotas.....	51
3.2 Definição dos percursos monitorizados na cidade de Aveiro.....	53
3.3 Definição dos percursos monitorizados na cidade do Porto	56
3.4 Caracterização dos percursos efetuados	58
3.5 Equipamento para monitorização experimental de desempenho.....	59
3.6 Potência específica nas bicicletas (BSP)	63
4. Resultados	67
4.1 Caracterização dinâmica do veículo utilizado nas monitorizações	67
4.1.1 Resultados para a potência específica nas bicicletas (BSP) em Aveiro para o ciclista 1	67
4.1.2 Resultados para a potência específica nas bicicletas (BSP) no Porto para o ciclista 1	73
4.2 Dados fisiológicos	80
4.3 Análise detalhada de vias com inclinação acentuada na cidade de Aveiro	91
4.4 Análise detalhada de vias com inclinação acentuada na cidade do Porto.....	95
4.5 Análise de conflitos entre ciclistas e automobilistas	101

5. Conclusões do trabalho realizado e orientações pertinentes para um trabalho futuro	103
5.1 Conclusões do trabalho realizado	103
5.2 Orientações para trabalhos futuros	105
Referências Bibliográficas	107
Diplomas Legais	112
Anexo A – Síntese Descritiva de <i>Bike Route Planners</i> existentes no mercado.....	113
Anexo B – Caracterização dinâmica do veículo utilizado nas monitorizações.....	123
Anexo B.1 – Resultados para a potência específica nas bicicletas (BSP) em Aveiro para o ciclista 2.....	123
Anexo B.2 – Resultados para a potência específica nas bicicletas (BSP) no Porto para o ciclista 3.....	135

Lista de Figuras

Figura 1 - Aumento da utilização da bicicleta causa pela extensão da rede de ciclovias (adaptado da referência Colville-Andersen, 2017).	27
Figura 2 - Número de fatalidades envolvendo ciclistas por 100 milhões de km (adaptado da referência CTC, 2009).	29
Figura 3 - Vendas na União Europeia de carros de passageiros, bicicletas e e-bicicletas (adaptado da referência PBV, 2019).	29
Figura 4 - Crescimento do número de programas de partilha de bicicletas e uso de bicicletas públicas no decorrer do tempo (adaptada da referência Business Insider, 2018).	30
Figura 5 - Repartição modal em 20 cidades portuguesas (adaptado da referência EPOMM, 2012).	32
Figura 6 - Classificação das cidades como starters, climbers ou champions, de acordo com a repartição modal e condições para a utilização da bicicleta - Fonte: PRESTO Cycling Policy Guide. (Adaptado da referência European Union's intelligent Energy, 2010).	35
Figura 7 - Descrição das deslocações em bicicleta com diferentes propósitos (IMTT, 2011a, p.7), adaptado.	36
Figura 8 - Categorias de ciclistas na cidade de Portland, EUA (adaptado da referência (Geller, 2009)).	37
Figura 9 - Critérios relacionados com a rapidez do trajeto por ordem crescente de relevância.	38
Figura 10 - Critérios relacionados com a segurança do percurso dispostos por ordem crescente de importância.	38
Figura 11 - Características das vias consideradas aceitáveis para a circulação em bicicleta, mediante a extensão e a inclinação da via (IMTT, 2011a, p.13), adaptado.	39
Figura 12 - Exemplo do mapa interativo de registo de acidentes envolvendo ciclistas (Quilty-Harper, 2012).	45
Figura 13 - Número médio de acidentes por hora ao longo do dia (adptado da referência Quilty-Harper, 2012).	45
Figura 14 - Número de acidentes por tipo de veículo (adaptado da referência Quilty-Harper, 2012).	46
Figura 15 - Taxa de acidente por tipo de veículo (adaptado da referência Quilty-Harper, 2012).	46
Figura 16 - Identificação de uma ocorrência relacionada com ciclovias na plataforma "Na Minha Rua".	47
Figura 17 - Mobilidade urbana em bicicleta como um sistema.	49
Figura 18 - Metodologia adotada para a realização da dissertação.	51
Figura 19 - Subárea da cidade de Aveiro escolhida para implementação da plataforma (Fonte forografia aérea: Google Maps).....	55
Figura 20 - Opiniões dos 194 inquiridos sobre os percursos sugeridos (Ciclaveiro, 2017).	56
Figura 21 - Subárea da cidade do Porto para implementação da plataforma (Fonte fotografia aérea: Google Maps).	57
Figura 22 - Bicicleta convencional utilizada para a realização dos percursos em ambas as cidades.	59
Figura 23 - GNSS inserido na bicicleta que indica o perfil dinâmico da viagem.....	60
Figura 24 - Ilustração da colocação da câmara de vídeo no capacete do ciclista.	61
Figura 25 - Equipamento Vital Jacket para aferição dos batimentos cardíacos do ciclista.	62
Figura 26 - Menu Principal da aplicação de monitorização do Vital Jacket.	62
Figura 27 - Variação da velocidade média com a inclinação da estrada na cidade de Aveiro.....	69
Figura 28 - Distribuição temporal (%) pelos diferentes modos de BSP para a cidade de Aveiro para percursos com início na Universidade de Aveiro e término na Estação de Comboios (P1a, P2a	

e P3a) e para percursos com início na Estação de Comboios e término na Universidade de Aveiro (P1b, P2b e P3b).	70
Figura 29 - Distribuição temporal (%) pelos diferentes modos de BSP para os percursos P1a, P2a e P3a.	71
Figura 30 - Distribuição temporal (%) pelos diferentes modos de BSP para os percursos P1b, P2b e P3b.	72
Figura 31 - Variação da velocidade média com a inclinação da estrada na cidade do Porto obtida pelo ciclista 1.	75
Figura 32 - Distribuição temporal (%) pelos diferentes modos de BSP para a cidade do Porto para percursos com início na Avenida dos Aliados, e término nos Jardins do Palácio de Cristal (P4a, P5a e P6a) a azul e para percursos com o sentido inverso ao anteriormente referido (P4b, P5b e P6b) a verde obtida pelo ciclista 1.	77
Figura 33 - Distribuição temporal (%) pelos diferentes modos de BSP para os percursos P4a, P5a e P6a obtido pelo ciclista 1.	78
Figura 34 - Distribuição temporal (%) pelos diferentes modos de BSP para os percursos P4b, P5b e P6b obtida pelo ciclista 1.	79
Figura 35 - Relação entre ($\Delta BC \Delta t$) e BSP para as monitorizações em Aveiro.	81
Figura 36 - Relação entre ($\Delta BC \Delta t$) e BSP para as monitorizações no Porto.	82
Figura 37 - Energia global despendida pelo utilizador da bicicleta em função do batimento cardíaco registado (adaptada de Mendes, 2014).	84
Figura 38 - ED por modo de BSP para as cidades de Aveiro e Porto.	85
Figura 39 - Análise comparativa entre a energia total média despendida (Wh) para ambas as cidades em estudo.	90
Figura 40 - Análise comparativa entre a energia total média despendida por km para ambas as cidades em análise.	91
Figura 41 - Variação do batimento cardíaco com a velocidade registada pelo ciclista para a Rua Sr. dos Aflitos, situada entre a rotunda do Centro Comercial Pingo Doce e a Estação de Comboios da cidade de Aveiro.	92
Figura 42 - Variação do batimento cardíaco com a altitude registada pelo ciclista para a Rua Sr. dos Aflitos, situada entre a rotunda do Centro Comercial Pingo Doce e a Estação de Comboios da Cidade de Aveiro.	93
Figura 43 - Variação do batimento cardíaco com a velocidade registada pelo ciclista para a rua Manuel J. Braga Alves, situada entre a rotunda do Centro de Congressos e a Escola Dr. Mário Sacramento em Aveiro.	94
Figura 44 - Variação do batimento cardíaco com a altitude registada pelo ciclista para a rua Manuel J. Braga Alves, situada entre a rotunda do Centro de Congressos e a Escola Dr. Mário Sacramento em Aveiro.	95
Figura 45 - Variação do batimento cardíaco com a velocidade registada pelo ciclista para a Rua dos Clérigos e posteriormente para a Rua de São Filipe de Nery onde se encontra situada a Igreja dos Clérigos na cidade do Porto.	96
Figura 46 - Variação do batimento cardíaco com a altitude registada pelo ciclista para a Rua dos Clérigos e posteriormente para a Rua de São Filipe de Nery onde se encontra situada a Igreja dos Clérigos na cidade do Porto.	97
Figura 47 - Variação do batimento cardíaco com a velocidade registada pelo ciclista para a Rua Jorge de Viterbo Ferreira onde se encontra situado o Instituto de Ciências Biomédicas Abel-Salazar na cidade do Porto.	98
Figura 48 - Variação do batimento cardíaco com a altitude registada pelo ciclista para a Rua Jorge de Viterbo Ferreira onde se encontra situado o Instituto de Ciências Biomédicas Abel-Salazar na cidade do Porto.	99

Figura 49 - Variação do batimento cardíaco com a velocidade registada pelo ciclista para a Rua de Camões situada entre a Igreja da Santíssima Trindade e o Viaduto de Gonçalo Cristóvão na cidade do Porto.	100
Figura 50 - Variação do batimento cardíaco com a altitude registada pelo ciclista para a Rua de Camões situada entre a Igreja da Santíssima Trindade e o Viaduto de Gonçalo Cristóvão na cidade do Porto.	101
Figura 51 - Variação da velocidade média com a inclinação da estrada na cidade de Aveiro para o ciclista 2.	126
Figura 52 - Distribuição temporal (%) pelos diferentes modos de BSP para a cidade de Aveiro para percursos com início na Universidade de Aveiro e término na Estação de Comboios (P1a, P2a e P3a) a azul e para percursos com o sentido inverso ao anteriormente referido (P1b, P2b e P3b) a verde obtidos pelo ciclista 2.	129
Figura 53 - Distribuição temporal (%) pelos diferentes modos de BSP para os percursos P1a, P2a e P3a obtidos pelo ciclista 2.	130
Figura 54 - Distribuição temporal (%) pelos diferentes modos de BSP para os percursos P1b, P2b e P3b obtidos pelo ciclista 2.	132
Figura 55 - Variação da velocidade média com a inclinação da estrada na cidade do porto obtida pelo ciclista 3.	141
Figura 56 - Distribuição temporal (%) pelos diferentes modos de BSP para a cidade do Porto para percursos com início na Avenida dos Aliados, e término nos Jardins do Palácio de Cristal (P4a, P5a e P6a) a azul e para percursos com o sentido inverso ao anteriormente referido (P4b, P5b e P6b) a verde obtida pelo ciclista 3.	144
Figura 57 - Distribuição temporal (%) pelos diferentes modos de BSP para os percursos P4a, P5a e P6a obtida pelo ciclista 3.	145
Figura 58 - Distribuição temporal (%) pelos diferentes modos de BSP para os percursos P4b, P5b e P6b, obtida pelo ciclista 3.	149

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Quantidade de bicicletas nos principais países (Worldometers, 2019).....	30
Tabela 2 - Repartição modal em percentagem em 15 países da União Europeia no ano de 2000. (Rietveld, 2004).....	31
Tabela 3 - Repartição modal em percentagem de 20 cidades de Portugal e respetivo número de habitantes.	33
Tabela 4 - Ranking das 20 cidades a nível mundial mais amigas da bicicleta (CI, 2017).	34
Tabela 5 - Síntese comparativa de plataformas de planeamento de rotas existentes no mercado.	41
Tabela 6 - Planeadores de rotas disponíveis nos Estados Unidos da América.	43
Tabela 7 - Referências para agregados de soluções a aplicar no projeto de redes cicláveis.	47
Tabela 8 - Grupo de utilizadores e pontos de interesse (DRD, 2000; Fáilte Ireland, 2007; DFT, 2008; Lumsdon et al, 2009; Transport Scotland, 2011).....	52
Tabela 9 - Caracterização dos percursos efetuados.	58
Tabela 10 - Distribuição das monitorizações pelos diferentes percursos.	59
Tabela 11 - Valores dos coeficientes do modo BSP para diferentes classes de bicicletas (Mendes, Duarte & Baptista 2015).	64
Tabela 12 - Valores usados para cada variável da equação do modo BSP (Mendes, Duarte & Baptista 2015).	64
Tabela 13 - Agregação do conceito BSP em 11 modos distintos (Mendes, Duarte & Baptista, 2015).....	65
Tabela 14 - Estatística de viagem para os diversos percursos realizados na cidade de Aveiro.....	67
Tabela 15 - Relação entre a velocidade média registada e a inclinação da via na cidade de Aveiro.	69
Tabela 16 - Estatística de viagem para os diversos percursos realizados na cidade do Porto pelo ciclista 1.	74
Tabela 17 - Relação entre a velocidade média registada e a inclinação da via na cidade do Porto obtida pelo ciclista 1.	76
Tabela 18 - $\Sigma(\Delta BC)$ para a cidade de Aveiro e do Porto.....	83
Tabela 19 - Energia total despendida (Wh) em cada um dos modos de BSP na cidade de Aveiro com os dados provenientes das monitorizações efetuadas pelo ciclista 1.	85
Tabela 20 - Energia total despendida (Wh) em cada um dos modos de BSP na cidade do Porto com os dados provenientes das monitorizações efetuadas pelo ciclista 1.	86
Tabela 21 - Energia total média (Wh) despendida em cada um dos percursos monitorizados na cidade de Aveiro pelo ciclista 1.	87
Tabela 22 - Energia total média (Wh) despendida em cada um dos percursos monitorizados na cidade do Porto pelo ciclista 1.	87
Tabela 23 - Energia despendida por km (Wh/km) em cada um dos percursos monitorizados na cidade de Aveiro pelo ciclista 1.	89
Tabela 24 - Energia despendida por km (Wh/km) em cada um dos percursos monitorizados na cidade do Porto pelo ciclista 1.	89
Tabela 25 - Energia consumida e número de ultrapassagens para cada par OD em estudo.	102
Tabela 26 - Estatística da viagem para os diversos percursos realizados na cidade de Aveiro para o ciclista 2.	123
Tabela 27 - Relação entre a velocidade média registada e a inclinação da via na cidade de Aveiro para o ciclista 2.	127
Tabela 28 - Estatística de viagem para os diversos percursos realizadas na cidade do Porto pelo ciclista 3.	136

Tabela 29 - Relação entre a velocidade média registada e a inclinação da via na cidade do Porto obtida pelo ciclista 3.	142
---	-----

Lista de Equações

Equação 1 - Equação do modo BSP (Mendes, Duarte & Baptista 2015).....	63
Equação 2 - Equação generalista do modo BSP para os ciclistas com massa de 70 kg (adaptada de Mendes, Duarte & Baptista 2015).	64
Equação 3 - Equação generalista do modo BSP para o ciclista com massa de 54 kg (adaptada de Mendes, Duarte & Baptista 2015).	64
Equação 4 - ED em função do BC segundo a referência (Gastinger et al, 2012).....	83
Equação 5 - ED em função do BC segundo a referência (Ainslie et al, 2003).	83
Equação 6 - ED em função do BC segundo a referência (Keystel et al, 2005).	83
Equação 7 - ED em função do BC, equação média (Mendes, 2014).....	84

Lista de Abreviaturas

AR – Assembleia da República

AASHTO – Associação Americana de Oficiais de Rodovias e Transportes do Estado

BC – Batimento Cardíaco

BSP – Potência Específica nas Bicicletas (Wh/kg)

CE – Comissão Europeia

CEAP – Centro de Estudos de Administração Pública

CEO – Diretor Executivo

CO_2 – Dióxido de carbono

E-Bike – Bicicleta Elétrica

ECG – Eletrocardiograma

ED – Energia Despendida

EPOMM – Plataforma Europeia de Gestão da Mobilidade

EUA – Estados Unidos da América

GHG – Gases com efeito de estufa

GPS – Sistema de Posicionamento Global

GNSS – Sistema Global de Navegação por Satélite

HGVs – Veículos Pesados de Mercadorias

IEETA – Instituto de Engenharia Eletrónica e Telemática de Aveiro

IMC – Índice de Massa Corporal

IMTT – Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres

INE – Instituto Nacional de Estatística

ISCA – Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Aveiro

NACTO – Associação Nacional de Oficiais de Transporte da Cidade

OD – Origem – Destino

OMS – Organização Mundial de Saúde

ONU – Organização das Nações Unidas

PBOT – Agência de Transporte de Portland

PM_{10} – Partículas Médias

PEDUCA – Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano da Cidade de Aveiro

SIG – Sistema de Informação Geográfica

TFL – Transport for London

TIC – Tecnologias de Informação e Comunicação

UA – Universidade de Aveiro

UE – União Europeia

a – Aceleração (m/s^2)

A – Área frontal do conjunto ciclista + bicicleta (m^2)

C_R – Coeficiente de rolamento

C_D – Coeficiente de resistência aerodinâmica

g – Aceleração da gravidade (m/s^2)

m – Massa do conjunto ciclista + bicicleta (kg)

v – Velocidade (m/s)

ε_i – Fator de massa

θ – Inclinação da estrada (radianos)

ρ_A – Densidade do ar ambiente (kg/m^3)

$\frac{\Delta BC}{\Delta t}$ – Diferencial do batimento cardíaco

$\Sigma \Delta BC$ – Incremento do batimento cardíaco face ao momento inicial

1. Introdução

1.1 Enquadramento do tema

O setor dos transportes tem enfrentado desafios gradativos no que diz respeito a consumo de energia, emissões e congestionamento. Nos Estados-Membros da União Europeia, EU-28, o setor dos transportes, durante o ano de 2016 foi responsável pelo consumo de energia final no valor de 33,2%, tendo sido a componente rodoviária responsável por 82,5% desse consumo (EC, 2018).

Em Portugal, para o ano de 2016, o setor dos transportes apresentou um consumo de energia final de aproximadamente 42%, do qual a componente rodoviária representou 78,4% desse valor de consumo de energia final (EC, 2018).

No que concerne às emissões de gases com efeito de estufa (GHG), expressos em CO_2 equivalente, o setor dos transportes foi o causador, no ano de 2017, por 25% das emissões totais (Eurostat, 2019).

Torna-se deste modo imperativo sobrelevar que tanto os valores correspondentes ao consumo de energia como os valores das emissões dos gases de efeito de estufa (GHG) têm-se intensificado ao longo dos anos desde 1990, de acordo com dados oriundos da Comissão Europeia (CE, 2012).

Para prevenir impactos mais severos devido a alterações climáticas, a comunidade internacional concordou que o aumento da temperatura deverá manter-se abaixo dos 2 °C, quando comparado com a temperatura nos tempos pré-industriais, o que significa um aumento de temperatura não superior a 1,2 °C acima do nível atual (Eurostat, 2019).

Para 2020, a UE comprometeu-se a reduzir as suas emissões para 20% abaixo dos níveis de 1990. Para além de 2020, no quadro da política climática e energética para 2030, a União Europeia define como objetivo reduzir as emissões em 40% face aos níveis de 1990. Seguindo esta tendência, para 2050, os líderes da EU aprovaram o objetivo de reduzir as emissões de gases com efeito de estufa na Europa em 80% face aos níveis de 1990 (Eurostat, 2019).

O crescimento na UE situa-se frequentemente nas áreas urbanas e imediações, trazendo custos de cerca de 100 mil milhões de euros, ou seja, 1% do PIB da UE, anualmente (EC, 2017).

O recurso a veículos cada vez mais potentes, o crescimento da motorização e a diminuição dos índices de ocupação automóvel são fatores que se têm sobreposto ao aumento da eficiência resultante dos múltiplos avanços tecnológicos e colocam em causa a dependência de recursos energéticos não renováveis.

No decorrer dos últimos 20 anos, a incrementação do número de veículos *per capita*, relevou-se deveras significativa. No ano de 1991, existiam, nos EU-27, 334 automóveis de passageiros (categoria que abrange também táxis e automóveis de passageiros com menos de 10 lugares) por 1000 habitantes. No ano de 2002, esse valor era de 440 e, por consulta a dados mais recentes, foi possível inferir que esse valor continuou a aumentar, sendo que no ano de 2009, já existiam 473 automóveis de passageiros por 1000 habitantes. No ano de 1991, em Portugal existiam 183 automóveis de passageiros por 1000 habitantes, valor que estaria muito abaixo da média nos EU-27, porém no ano de 2002 esse número aumentou exponencialmente tendo-se registado para este ano 549 automóveis de passageiros por 1000 habitantes para Portugal, indicando não só que já estaria acima da média verificada nos EU-27 bem como dando conta de um elevado aumento da taxa de motorização do país (European Commission, 2012).

A poluição do ar continua a ter impactos significativos na saúde dos europeus, nomeadamente nas áreas urbanas. Revela também outros impactos consideráveis tais como impactos económicos, reduz a esperança de vida essencialmente da população que reside e ou frequente abundantemente essas áreas, aumenta os custos associados à saúde e reduz a produtividade, sendo esta uma consequência direta dos dias de trabalho que são perdidos em virtude da realização de tratamentos de saúde. Os poluentes mais problemáticos da Europa em

termos de danos para a saúde humana são as PM, NO_2 e O_3 ao nível do solo. Estimativas dos impactos na saúde atribuíveis à exposição da poluição do ar indicam que as concentrações das partículas médias $PM_{2.5}$ no ano de 2013 foram responsáveis por cerca de 467 000 mortes prematuras originadas pela exposição a longo prazo na Europa (EEA,2016).

Num momento em que o padrão de desenvolvimento sustentável está cada vez mais presente, bem como as questões relacionadas com gastos e eficiência energética, ruído e qualidade do ar, torna-se de extrema relevância repensar o modelo de mobilidade urbana pretendido. Posto isto, é imperativo reduzir os gastos energéticos que advêm do setor dos transportes, criando-se condições tecnológicas que permitam menos ruído e que sejam mais sustentáveis do ponto de vista energético e económico quando comparadas com o automóvel.

Com o intuito de reduzir o consumo de energia bem como de alcançar uma diminuição nas emissões dos gases de efeito de estufa (GHG), uma das abordagens possíveis passa por desenvolver novas tecnologias que tenham como finalidade a obtenção de veículos mais eficientes. Importa ainda referir que é de igual forma importante a introdução de novas tecnologias nos veículos e a inserção de combustíveis alternativos no mercado de forma veemente. (International Energy Agency, 2010).

Para fazer face aos problemas mencionados anteriormente, existem vários modelos alternativos de transporte nomeadamente em contexto urbano, sendo de especial importância três deles. Assim, importa referir a elevada importância dos sistemas de transporte público, dos sistemas de partilha de veículos que se encontra aplicado a automóveis, bicicletas e motociclos e dos modos suaves (ou ativos) dos quais se podem destacar a mobilidade ciclável e pedonal (Wang, R., 2011).

Partindo do modelo alternativo de transporte relacionado com o uso dos modos suaves, foi possível verificar pela utilização da ferramenta de avaliação económica de saúde (*HEAT*) para ciclismo, desenvolvida pela Organização Mundial de Saúde (OMS), que ao considerar todos os benefícios internos e externos do ciclismo, com base na sua taxa de utilização na Europa, que se situa nos 7,4%, e adicionando o volume de negócios de indústrias relacionadas com este setor, é possível concluir que o ciclismo gera mais de 200 mil milhões de euros anualmente, ou caso queiramos fazer uma análise per capita, mais de 400€ para cada residente na União Europeia. A maior parte desse valor advém do lado da saúde, que apresenta um valor associado de cerca de 110 mil milhões de euros anualmente. Ainda assim, existem custos para o ciclismo que, embora sejam muito menores, os benefícios para a saúde devem ser diminuídos para maximizar o benefício geral do ciclismo.

De notar que o principal custo envolvido consiste em perda de vidas e lesões graves causadas por acidentes rodoviários (ECF, 2014). Em 2015, mais de 2000 ciclistas morreram em acidentes rodoviários num total de 27 países da União Europeia, perfazendo uma parcela de 8% no total de mortes em acidentes rodoviários registadas durante esse ano (EC, 2017).

Contudo, o uso de bicicletas apresenta diversas vantagens, possibilitando a movimentação de pessoas em locais urbanos de uma forma mais célere e por distâncias maiores do que aquelas que se conseguiriam efetuar a pé. Os veículos de duas rodas assumem elevada importância em diversos países, em especial no continente Asiático, no qual estes se revelam como a escolha primária aquando da seleção do veículo para realizar a deslocação quotidiana dos seus habitantes.

Em diversas cidades dos continentes Americano e Europeu, tem-se verificado um aumento da instalação de infraestruturas para bicicletas, especialmente através dos sistemas de partilha de bicicletas e da construção de ciclovias (Baptista, 2013).

Priorizar a utilização da bicicleta em ambiente urbano é deveras auspicioso uma vez que permite aos seus utilizadores efetuarem deslocações a velocidade superiores em curtas distâncias e para além disso a utilização da bicicleta remete para a ausência de emissões e apresenta benefícios na saúde dos seus utilizadores (Lindsay et al, 2011).

Existem vários estudos que demonstram que mais de 30% das deslocações efetuadas com recurso ao automóvel na Europa cobrem distâncias inferiores a 3km e que aproximadamente 50%

apresentam menos de 5km de extensão, sendo que é justamente nestes casos que a bicicleta pode competir com o automóvel e transformar-se numa alternativa verossímil para satisfazer as necessidades de deslocções pendulares nas cidades (ECF, 2014).

Importa referir que se verifica que um número significativo de cidades tem vindo a caminhar a passos largos no que respeita à incorporação das bicicletas em contexto urbano, permitindo desta forma promover e incentivar os seus habitantes a utilizarem a bicicleta como veículo de deslocação. Deste modo, verifica-se que em alguns países existe uma parcela significativa de viagens realizadas utilizando a bicicleta como meio de transporte, de entre os quais podemos destacar a Holanda (26%), a Dinamarca (18%) e a Alemanha (10%) (Buehler et al, 2012). Na cidade de Amesterdão, na Holanda, durante o ano de 2008, cerca de 38% de todas as viagens foram realizadas utilizando a bicicleta como meio de transporte. De notar que durante esse mesmo ano aproximadamente 50% dos moradores de Amesterdão utilizaram a bicicleta diariamente e cerca de 85% confessa ter usado a bicicleta pelo menos uma vez por semana (Gardner, 2010).

Na Nova Zelândia, o resultado de trocar 5% das viagens realizadas por veículos ligeiros por viagens realizadas por intermédio da bicicleta permitiriam uma redução de 223 milhões de km de viagens realizadas com auxílio do carro ligeiro, uma poupança de 22 M de litros de combustível e por conseguinte uma poupança de aproximadamente 37 milhões de dólares associados à compra de combustível por parte dos utilizadores do automóvel ligeiro. Para além disso, evitaria a emissão de 50 000 toneladas de CO_2 (cerca de 0,4% do total de gases com efeito de estufa associado ao transporte rodoviário no ano de 2007), e também permitiria a redução de outros poluentes tais como as partículas médias PM_{10} e outros compostos orgânicos voláteis. (Lindsay et al, 2011).

A promoção e incentivo da utilização da bicicleta na mobilidade urbana requer o desenvolvimento de novas políticas e aperfeiçoamento de políticas existentes e de infraestruturas específicas que desta forma permitam abranger a viagem a todos os níveis, seja no que confere à viagem propriamente dita (fomentação de trajetos com tráfego diminuto e construção de ciclovias), seja no que diz respeito ao estacionamento dos meios de transporte, isto é, criar locais seguros para o estacionamento adequado das bicicletas, seja na facilidade da movimentação em torno da cidade, o que é conseguido através da integração das bicicletas com os sistemas de transportes públicos.

Em muitas cidades europeias, o apoio ao transporte público e ao ciclismo na mobilidade diária é considerado um meio de elevada eficiência por forma a reduzir a poluição do ar, os engarrafamentos e as emissões de carbono. Os sistemas de partilha de bicicletas mostram-se eficazes no aumento do ciclismo em diversas áreas urbanas, em especial, quando se encontram combinados com o transporte público. (Jäppinen et al, 2013).

A conferência da ONU relativa ao Desenvolvimento Sustentável de 2012 (Rio+20) instiga o desafio de no ano de 2030, as deslocações nas cidades serem predominantemente realizadas recorrendo a transporte público, de bicicleta ou a pé. O Parlamento Europeu (2011), aconselhou a introdução em toda a União Europeia de velocidades máximas de 30 km/h nas áreas residenciais que não possuíssem faixas para os ciclistas.

No ano de 2012, a Assembleia da República lançou uma recomendação ao governo com o intuito de estimular a mobilidade sustentável com recurso aos modos suaves de transporte, especialmente por intermédio de medidas práticas que garantissem efetivas condições de circulação aos seus utilizadores, bem como o reforço da sua segurança, tendo em vista a melhoria da integração de modos suaves com os sistemas de transporte público, assim como a promoção do cicloturismo. Já no ano de 2009 tinha sido concebido um Grupo de Trabalho Interministerial, sendo este coordenado pelo Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres (IMTT) que visava a conceção de um plano em que se visava a promoção da utilização da bicicleta a nível regional e nacional, bem como a promoção de outros modos de transporte considerados usualmente como modos suaves de deslocação (Resolução da AR nº 3/2009).

Ultimamente tem-se presenciado um aumento de utilizadores de bicicleta e a necessidade de uma cultura que privilegie a utilização da bicicleta como modo de transporte urbano em Portugal.

Este procedimento foi incentivado, em algumas cidades, pelo investimento na construção de ciclovias urbanas, bicicletas de uso partilhado e equipamentos de apoio.

Nos dias de hoje constata-se a existência de mais de 500 sistemas de partilha de bicicletas em todo o mundo, sendo estes usualmente designados por sistemas de *bike sharing*, dos quais 40 recorrem a bicicletas que apresentam um motor elétrico na sua constituição (Baptista et al, 2013). Importa realçar que existe uma maior aglomeração destes sistemas no continente Europeu, no qual estão presentes aproximadamente 78% do número total de sistemas de partilha de bicicletas existentes no mundo (Baptista, 2013). De uma maneira geral, é possível concluir que em média cada sistema de partilha de bicicletas tem 2 bicicletas por 1000 habitantes e que cada bicicleta apresenta uma utilização média diária de 7 vezes, em percursos com uma extensão de aproximadamente 2 km (Baptista, 2013).

Conquanto a utilização de bicicletas convencionais tenha sido impulsionada com vultoso sucesso em inúmeras cidades, especialmente em Paris e Londres (Barclays Cycle Hire, 2012), (Lathia et al, 2012), verificam-se ainda diversos problemas que têm de ser ultrapassados por forma a ser atingido o seu uso generalizado. Alguns dos primordiais problemas identificados no que concerne à utilização de bicicletas tendo por objetivo o transporte urbano reside essencialmente nas dificuldades em superar locais com orografia complexa, nomeadamente elevada inclinação, a dificuldade de viajar distâncias muito longas e a exposição a climas algo extremistas (Dill et al, 2012). Contradizendo este panorama, verifica-se que em países do Norte da Europa, apesar de apresentarem climas com temperaturas baixas, têm demonstrado taxas relativamente elevadas no que diz respeito à utilização da bicicleta como meio de transporte.

Importa realçar o facto de que em cidades com topografias complexas e laboriosas, tal como se verifica em Lisboa, o incentivo e promoção dos modos suaves foi feito com recurso à construção de vias dedicadas exclusivamente à circulação de bicicletas, usualmente apelidadas de ciclovias, e à implementação de sistemas de partilha de bicicletas (Galp Energia, 2012), (Martinez et al, 2012).

Dando atenção às considerações feitas anteriormente é possível deduzir que partes dos problemas referidos podem ser facilmente ultrapassados por intermédio da utilização de bicicletas que disponham de motor elétrico, quer permanente quer como forma de auxílio em condições complicadas (Dill et al, 2012). De uma maneira geral, considera-se expectável que o recurso a bicicletas que disponham de um motor elétrico permita a redução do tempo associado à deslocação bem como de uma redução acentuada no que respeita ao esforço físico do ciclista. Todavia, a implementação desta tecnologia acarretará maiores custos, sendo estes oriundos da necessidade de recarregar as baterias que constituem o motor elétrico instalado nas bicicletas.

É clarividente que os sistemas de partilha de bicicletas são os que apresentam maior aplicabilidade no que respeita a bicicletas que apresentam motores elétricos na sua constituição como auxílio à deslocação dos utilizadores. A implementação de sistemas de partilha de bicicletas que apresentam motores elétricos como auxílio pode ser verificada um pouco por todo o globo. Na Alemanha foi implantado um sistema de partilha de bicicletas denominado “*The Callabike System*” sendo que este apresentava na sua constituição 15 bicicletas, todas elas constituídas por um motor elétrico auxiliar que permitia aliviar o esforço dos seus utilizadores na presença de subidas acentuadas (Callabike, 2012). A cidade de *Kitakyushu*, no Japão, apresenta também um sistema de partilha de bicicletas totalmente elétrico, com 116 bicicletas (The Bike-sharing Blog, 2011). Também cidades francesas como *Poitiers* e *St. Etienne* apresentam sistemas de partilha de bicicletas mistos, isto é, apresentam bicicletas ditas normais e bicicletas constituídas por motores elétricos como forma de auxílio nas deslocações, tendo estas cidades uma proporção de 26% e 15% entre bicicletas com motores elétricos e bicicletas ditas convencionais, respetivamente, para cada uma dessas cidades (Cap'Vélo, 2012), (VéliVert, 2012)

Nas cidades onde se tem verificado um aumento na utilização da bicicleta, o planeamento municipal das infraestruturas baseia-se fundamentalmente na replicação de boas práticas de outras cidades, todavia, esta prática nem sempre é capaz de conceber soluções eficazes, eficientes e

adaptadas ao local, pelo facto de necessitar de dados relativos às deslocações pendulares dos utilizadores habituais de bicicleta.

Todavia, em Portugal, o recurso aos modos suaves como andar de bicicleta ou a pé ainda se encontra largamente associado, no estigma das populações, a situações de baixo nível socioeconómico, vinculando, por outro lado, a posse e o uso do automóvel privado ao desenvolvimento e elevado poder económico (Seabra *et al.*, 2012).

A inscrição da bicicleta no sistema de mobilidade urbana e no espaço público de uma cidade tem apresentado um desenvolvimento evolutivo nos últimos anos, incentivado pela comunidade de utilizadores de bicicleta, cuja área de acessibilidade se expande para além da rede de ciclovias existente ou planeada. É fundamental ter o conhecimento de quem utiliza esta rede e porquê, como procedem à escolha dos percursos e quais as estratégias de circulação que desenvolveram. Toda esta informação é um elemento primordial no que diz respeito à gestão de uma rede de transportes, em mudança para um novo paradigma de mobilidade urbana, assente, no aumento das deslocações em bicicleta na repartição modal. Importa salientar que a mobilidade ciclável em Portugal não tem sido monitorizada, embora os Censos 2011 tenham considerado a bicicleta individualmente na repartição modal.

A todos os responsáveis pela gestão municipal interessa monitorizar este progresso na mobilidade urbana com uma periodicidade capaz de acompanhar a velocidade do crescimento da bicicleta na respetiva cidade. Conquanto num passado longínquo tivesse existido a obrigatoriedade de licenciamento de bicicletas com respetiva atribuição de matrículas pelos próprios Municípios, atualmente não se verifica qualquer exigência deste nível para o velocípede nem o seguro para o ciclista, não existindo desta forma, qualquer fonte de dados administrativos que permita acompanhar a evolução. Por outro lado, os custos de recolha e tratamento de dados associados à circulação de bicicletas são significativos, de tal forma que a sua integração numa plataforma *online* de utilizadores registados, que proporcione um serviço gratuito de seleção prévia de percursos (*Bike Route Planner*) e propicie o *feedback* do ciclista, poderá ser um meio indireto, porém relativamente eficiente na recolha de dados relativos à rede viária utilizada pelos ciclistas e ao próprio ciclista, estabelecendo ao mesmo tempo uma ferramenta de apoio útil ao planeamento e gestão da mobilidade urbana e em específico para a melhoria da rede de infraestruturas cicláveis.

Sempre que se aborda a temática do ciclismo, este encontra-se, na maioria das vezes, associado a dois países e às suas respetivas capitais, sendo eles a Holanda e a Dinamarca e as cidades Amesterdão e Copenhaga. Esta associação é frequentemente realizada uma vez que a prática do ciclismo exige algum esforço muscular, pelo que, a utilização da bicicleta é facilitada em países planos. No entanto, as bicicletas são utilizadas regularmente em quase todo o lado na Europa.

Deste modo, é possível inferir que alguns países Europeus já entenderam que a bicicleta é um veículo perfeitamente capaz de concorrer com o automóvel em percursos urbanos com extensão até 5 km, revelando-se uma mais valia não só em termos económicos, mas também no que diz respeito à saúde, uma vez que a sua prática irá contribuir para um aumento da qualidade de vida dos cidadãos. (Carse *et al.*, 2012).

Por oposição aos exemplos anteriormente referidos, Portugal tem avançado a um ritmo muito lento, com pouco incentivo e promoção da utilização da bicicleta como meio de transporte nas cidades, especialmente nas vertentes da mobilidade e transporte. Tomando como exemplo a cidade de Lisboa, verifica-se que embora a orografia seja um fator condicionante forte em determinadas áreas, a maioria do concelho é perfeitamente ciclável à luz deste critério. Quanto ao mito das colinas, em Lisboa, 74% das ruas têm uma inclinação plana ou quase plana, até 5% (Ferreira, A., 2018).

De referir que a motorização elétrica auxiliar e outro tipo de soluções tecnológicas têm tido um forte desenvolvimento, o que contribui para a desvalorização do peso deste fator a prazo. A cidade do Porto apresenta, do mesmo modo que a anterior, uma utilização muito diminuta no que diz respeito ao número de deslocações diárias em bicicleta, apresentando valores a rondarem os

0,6%. Porém, contrastando com estas duas cidades, a cidade de Aveiro apresenta uma taxa de utilizadores de bicicleta de 3,9%, o que em números aproximados é cerca de oito vezes superior à média nacional. (Coelho, M., 2017).

De acordo com o exposto, a promoção de cada uma das alternativas de transporte carece do desenvolvimento de diversas políticas de transporte que incentivem a sua utilização por parte da população. Seguindo esta linha de pensamento, a elaboração deste trabalho prende-se essencialmente com o dar a conhecer as múltiplas vantagens que advêm da utilização de bicicletas convencionais em contexto urbano, quer no respeito ao nível energético, quer em termos de dinâmica, visto que a sua utilização é representativa de uma alternativa extremamente viável em contexto urbano.

Deste modo, resulta assim como pertinente o estudo das exigências da mobilidade em bicicleta e dos fatores que podem interferir aquando da escolha de percursos, quer os que decorrem de uma apreciação *a priori* da rede, quer os que são resultado da experiência direta de utilização pelos ciclistas, como *input* fundamental para o delineamento e gestão da rede ciclável. A mobilidade urbana manifesta-se assim como uma questão urgente e de relevante importância social, para a qual ainda não se encontraram respostas perfeitas, mas onde se institui um esforço contínuo de forma a atingir a sustentabilidade.

1.2 Objetivos

Com a realização desta dissertação pretende-se contribuir para o estudo da dinâmica e dados fisiológicos para 3 percursos distintos nas cidades de Aveiro e Porto com extensões semelhantes, visando a sua posterior inserção numa plataforma GIS, tendo-se para tal, aferido em ambos os percursos realizados os seguintes parâmetros:

- Distância do percurso (km);
- Tempo de realização (s);
- Consumo energético (Wh);
- Altitude (m);
- Inclinação média negativa (%);
- Inclinação média positiva (%);
- Velocidade média (km/h);
- Número de ultrapassagens sofridas pelo ciclista;
- Variação da frequência cardíaca.

Desta forma, após a obtenção dos parâmetros pretendidos, procedeu-se à quantificação do consumo de energia, do tempo de viagem, da dificuldade de cada percurso e dos níveis de segurança para ciclistas em diferentes rotas alternativas. Para este estudo, os ciclistas realizaram as travessias numa bicicleta do tipo convencional equipada com um GNSS data logger e a energia necessária foi quantificada com a metodologia de potência específica para bicicletas (BSP). Além disso, os ciclistas também utilizaram um equipamento para registar a frequência cardíaca, sendo este denominado por *Vital Jacket* e uma câmara de vídeo para efetuar o registo de conflitos de trânsito entre ciclistas e automobilistas. A metodologia BSP foi aplicada a três rotas diferentes escolhidas nas cidades portuguesas de Aveiro (terreno plano) e Porto (terreno montanhoso).

No seguimento da elaboração desta dissertação, considerou-se relevante a redação de um artigo científico (Cruz et al, 2019), visando complementar o tratamento de dados obtidos através das monitorizações experimentais realizadas em ambas as cidades em estudo.

1.3 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se organizada em 6 capítulos, incluindo este primeiro que serve de introdução ao tema em estudo.

No capítulo 2 é abordada de forma sumária a evolução das principais políticas europeias e nacionais na área da mobilidade urbana sustentável com especial incidência na mobilidade ciclável. É apresentada a problemática do crescimento de forma exponencial do uso da bicicleta em contexto urbano, da carência no que concerne aos dados estatísticos referentes à atual mobilidade urbana em bicicleta que permitam uma melhor tomada de decisão a nível municipal no que se refere aos investimentos em expansão e melhoria das infraestruturas cicláveis.

No capítulo 3 em primeiro lugar é realizada uma busca intensiva com o intuito de aferir os principais indicadores que os utilizadores de bicicleta têm em consideração aquando das suas deslocações em bicicleta. Em seguida, procedeu-se à descrição dos percursos a monitorizar nas cidades de Aveiro e Porto, com o intuito de fornecer ao leitor um melhor entendimento acerca das principais diferenças encontradas durante as monitorizações. Após a caracterização dos percursos, é feita uma breve descrição acerca dos equipamentos utilizados durante as monitorizações para registo de dados. Por último, introduz-se o conceito de Potência específica nas bicicletas (BSP), no qual se refere os seus objetivos e quais as variáveis a considerar.

No capítulo 4 são apresentados os resultados provenientes das monitorizações realizadas em ambas as cidades em análise, no qual são feitas comparações entre percursos em virtude dos critérios selecionados e são referidas múltiplas notas acerca do esforço físico que é exigido ao ciclista na realização de cada percurso selecionado. Neste capítulo é ainda feita uma análise detalhada das vias com maior inclinação para ambas as cidades em estudo. Por fim, foi realizada uma análise de conflitos entre ciclistas e automobilistas utilizando como indicador o número de ultrapassagens sofridas pelo ciclista durante a realização de cada percurso em ambas as cidades.

No capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões desta dissertação bem como as principais linhas de desenvolvimento futuro, quer no que concerne a inquéritos realizados a utilizadores que permitam obter maior informação acerca dos fatores determinantes aquando da sua deslocação em bicicleta, quer no que respeita a fatores que poderão ser abordados por forma a completarem o trabalho desenvolvido ao longo da elaboração desta dissertação.

Por último, no capítulo 6 estão contidas todas as referências bibliográficas e documentos utilizados durante a elaboração desta dissertação.

2. A Mobilidade em Bicicleta, o Planeamento da Rede Ciclável e a Modelação de Trajetos

Com o intuito de facultar um melhor entendimento acerca da temática em estudo nesta dissertação de mestrado, achou-se relevante proceder ao seu enquadramento dentro de um âmbito de carácter mais teórico, em conformidade com os pontos de vista e conhecimentos oriundos da revisão bibliográfica. Deste modo, neste capítulo procurar-se-á efetuar uma abordagem relativa aos conceitos que enquadram o crescimento da utilização dos modos suaves e a sua pertinência na gestão da mobilidade urbana, assim como o seu enquadramento no contexto nacional e nas cidades de Aveiro e Porto.

2.1.1 Políticas públicas orientadas para a promoção dos modos suaves

Diversos estudos (Dill & Carr, 2003; New York City DOT, 2009; Reynolds et al, 2009; NACTO Bike Share Equity Practitioners Paper, 2016; Colville-Andersen, M., 2017, 14 de Junho) revelam uma relação indubitavelmente positiva entre a extensão de uma rede de ciclovias e o continuo aumento do nível de utilização da bicicleta como modo de transporte, nomeadamente em deslocações pendulares. Nos Países Baixos, considera-se que o possível investimento de cerca de €100M numa rede de ciclovias de longa distância (*bicycle highways*) terá como resultado um benefício indireto de aproximadamente €144M por ano em ganhos de tempo em viagens, bem como uma melhoria nas condições ambientais e saúde dos utilizadores da bicicleta (Fietsberaad, 2011). De acordo com a Associação Nacional dos Funcionários do Transporte da Cidade (NACTO), cuja função principal é servir de aliança entre os Departamentos de Transporte nas diversas cidades norte-americanas, é possível inferir que nas cidades norte-americanas em que se verifica a construção de redes de ciclovias que protegem os ciclistas, não só é possível observar um crescimento acentuado no que diz respeito à utilização da bicicleta, mas também se regista uma diminuição do risco de lesão ou morte. Deste modo, é possível afirmar que o adequado emparelhamento do compartilhamento de bicicletas com pistas dedicadas à prática da bicicleta é essencial para esforços de equidade e mobilidade. Apresenta-se em seguida um gráfico que contém dados agregados das cidades de Chicago, Minneapolis, Nova Iorque, Filadélfia, Portland, São Francisco e Washington DC onde se verifica que a prática de ciclismo está ficando cada vez mais segura à medida que aumenta o número de pessoas que utilizam o bicicleta, uma vez que uma maior utilização da bicicleta por parte da população instiga a criação de infraestruturas adequadas, que tem como consequência direta uma diminuição do risco de acidentes envolvendo os utilizadores de bicicleta.

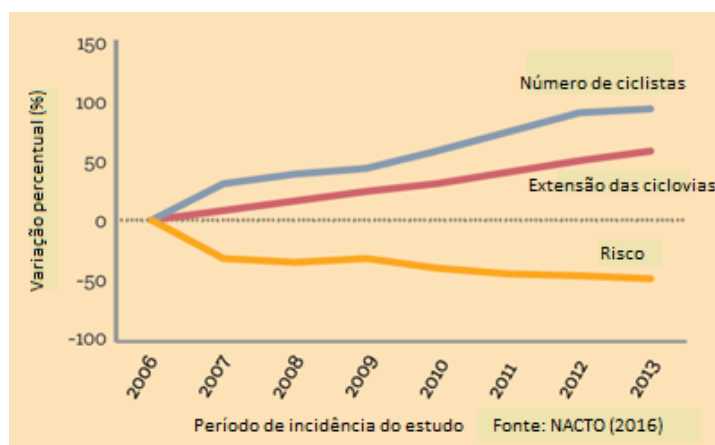


Figura 1 - Aumento da utilização da bicicleta causa pela extensão da rede de ciclovias (adaptado da referência Colville-Andersen, 2017).

No ano de 2017, de acordo com Mikael Colville-Andersen, que é Diretor Executivo (CEO) da *Copenhagenize Design Company*, que aconselha as cidades e os governos em assuntos relativos a infraestruturas *bicycle-friendly*, planeamento e design urbano visando deste modo fomentar a prática da bicicleta através de medidas que facilitem aos cidadãos de inúmeros países a utilização em segurança da bicicleta revela que um pouco por todo o mundo os cidadãos estão a redescobrir os benefícios associados ao ciclismo. Para tal acontecer de uma forma mais acessível, algumas cidades estão a investir fortemente em medidas que valorizem esta prática, nomeadamente medidas ao nível da construção de infraestruturas e da manutenção das já existentes. Considera ainda que esta crescente preocupação relacionada com o aumento da prática de ciclismo e por conseguinte melhoria na qualidade de vida dos cidadãos é o maior movimento no urbanismo global, referindo, contudo, que nem todas as cidades possuem o mesmo nível de preocupação relativamente a estes assuntos. A bicicleta na cidade, independentemente da topografia ou do clima, é um ótimo fator económico uma vez que, dando o exemplo concreto da cidade de Copenhaga, para esta cidade, a população que utiliza a bicicleta contribui com uma poupança de €261 M por ano em encargos relacionados com saúde pública, valor este que é suficiente para pagar o custo da infraestrutura que protege os ciclistas num período inferior a cinco anos (Colville-Andersen, M., 2017).

Por oposição ao anteriormente referido, existem diversos autores (J Pucher & Dijkstra, 2003; Fietsberaad, 2006; J Pucher & Buehler, 2008) que referem que o investimento isolado em infraestruturas cicláveis não é por si só condição suficiente para o crescimento da taxa de utilização da bicicleta e da segurança rodoviária. Os países e cidades onde se verificou um aumento da utilização da bicicleta apostaram num leque abrangente de medidas e intervenções complementares de que fazia parte a construção de uma infraestrutura extensa e contínua, medidas, planos e programas que beneficiassem a utilização da bicicleta e por último adotar medidas de restrição à utilização do automóvel privado, sendo este um fator fulcral que ainda nos dias de hoje preocupa os utilizadores diários da bicicleta essencialmente por questões de segurança e desmotiva aqueles que na ausência destes se sentiriam à vontade para iniciarem a sua prática. Sob outra perspetiva, Hochmair (2005) sugere que a taxa de ciclistas que utilizariam a bicicleta de uma forma mais frequente seria mais elevada caso estes dispusessem de forma rápida e intuitiva o acesso a informação prévia relativa ao percurso a realizar.

Jan Gehl (2010) sustenta a ideia de que quanto maior for o número de ciclistas a circular numa cidade, maior será a segurança dos mesmos, dado que, pelo facto de estes apresentarem velocidades acentuadamente inferiores aquelas a que o restante tráfego automóvel apresenta, a sua presença em massa irá indubitavelmente instigar uma maior acalmia no tráfego, levando deste modo os utilizadores dos veículos motorizados a circularem com maior cautela, o que por um lado será uma mais valia para os ciclistas visto que os automobilistas lhes prestarão mais atenção por partilharem a mesma estrada, o que terá como consequência direta uma diminuição do registo de sinistralidades e por outro lado, a presença em larga escala dos ciclistas servirá para reduzir os índices de poluição atmosférica e sonora que se verifica em sobretudo nos grandes centros urbanos.

A realização de um estudo a um conjunto de 13 países europeus, relativo a segurança rodoviária apontou Portugal como um país que apresente um número elevadíssimo de fatalidades envolvendo ciclistas, sendo este número manifestamente superior aos restantes obtidos para os restantes países europeus considerados (Figura 2). Em todo o caso, interessa realçar que a leitura do gráfico da Figura 2 deve ter em consideração as realidades díspares que se verificam em cada país em estudo, principalmente no que confere ao número de quilómetros percorridos por pessoa/ano em Portugal face aos restantes países.

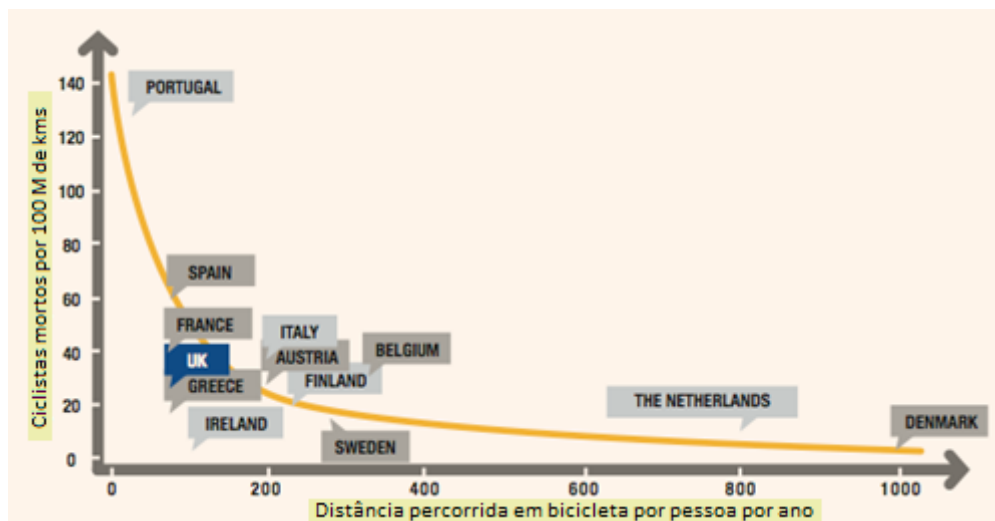


Figura 2 - Número de fatalidades envolvendo ciclistas por 100 milhões de km (adaptado da referência CTC, 2009).

2.1.2 Crescimento da bicicleta como modo de transporte

Durante o século XXI, o número de vendas de bicicletas foi sempre superior ao número de venda de veículos de passageiros, o que demonstra a importância destas como modo alternativo de transporte. Importa ainda referir que a partir de 2008, existe um decréscimo notório na venda de veículos de passageiros, podendo este ser em parte explicado pela introdução no mercado das bicicletas elétricas, e-bicicleta, que assumiram um papel importante no transporte de pessoas desde a sua introdução no mercado. Em seguida, apresentam-se na Figura 3 os dados relativos ao número de vendas dos veículos referidos anteriormente durante o início do século XXI.

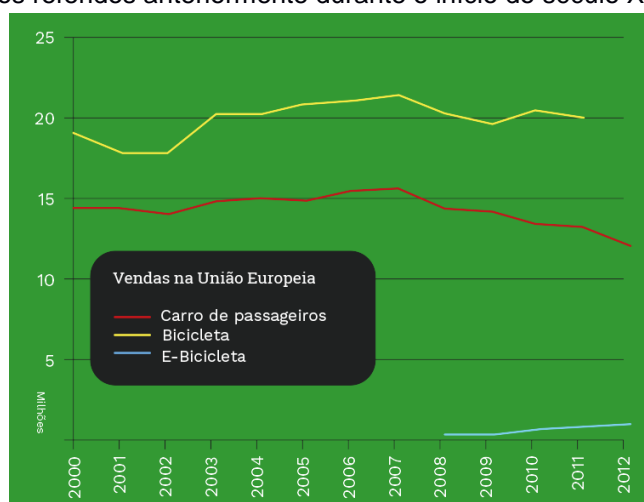


Figura 3 - Vendas na União Europeia de carros de passageiros, bicicletas e e-bicicletas (adaptado da referência PBV, 2019).

De realçar que embora as bicicletas sejam produzidas em dezenas de países, os cinco principais produtores são a China, a Índia, a União Europeia, Taiwan e Japão, sendo responsáveis por 87% da produção global. No ano de 2004, só a China tinha cerca de 58% do mercado global. No ano seguinte, isto é, em 2005, foi um ano recorde para a produção de bicicletas na China, tendo-se verificado um aumento de cerca de 16% na produção de bicicletas e *E-Bikes* para um total de 80 430 000 unidades produzidas, das quais cerca de 65% foram exportadas (Worldometer, 2018).

A República Popular da China produz nos dias de hoje mais de 60% das bicicletas do mundo. A título de curiosidade, estima-se que 86% das bicicletas vendidas nos Estados Unidos da América sejam importações oriundas da China. No entanto, o uso da bicicleta na China está a diminuir de forma acentuada, registando níveis atuais de utilização de 20% por oposição aos 33% registados no ano de 1995. No caso concreto da cidade de Pequim, verificou-se que apenas 20% das pessoas utilizaram a bicicleta como modo de transporte, contrastando com um valor de cerca de 60% registado em 1998 (Worldometer, 2018).

Em seguida, apresenta-se na Figura 4, um gráfico ilustrativo do crescimento de programas de partilha de bicicletas a nível mundial. Este expressa ainda o crescente número do uso de bicicletas públicas no mundo, no decorrer do tempo.

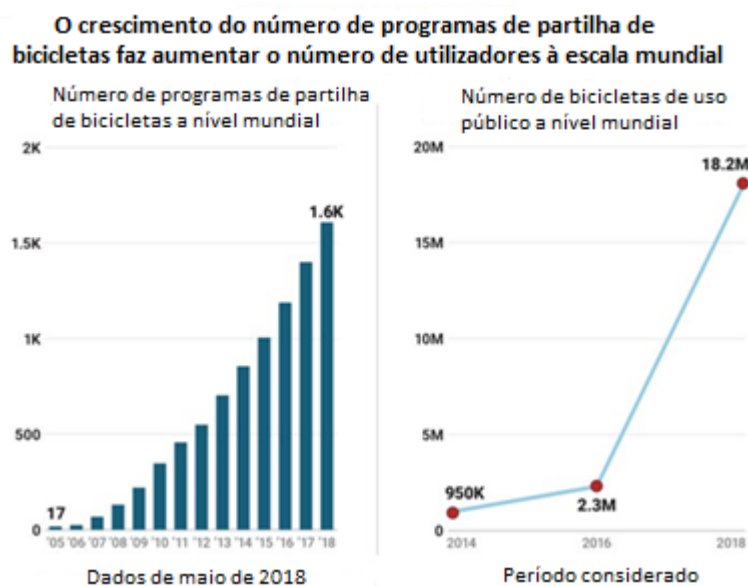


Figura 4 - Crescimento do número de programas de partilha de bicicletas e uso de bicicletas públicas no decorrer do tempo (adaptada da referência Business Insider, 2018).

De uma maneira geral, pode afirmar que a partir do ano de 1970 a produção de bicicletas quadruplicou, enquanto que a produção de automóveis apenas aumentou para o dobro. Como principais fatores que levaram a crescimento mais moderado podem-se referir a recente crise económica que afetou inúmeros países por todo o mundo e o constante aumento do preço dos combustíveis. Se por um lado os fatores anteriormente referidos contribuíram para uma procura a uma taxa diminuta do veículo motorizado, destaca-se por outro lado, o peso que estes tiveram na procura de modos de transporte alternativos, nomeadamente da bicicleta. Segundo Squires (2012), no ano de 2011 em Itália foram vendidas mais bicicletas do que automóveis, acontecimento que se verificou pela primeira vez desde o fim da segunda Guerra Mundial.

Estima-se que existam mais de um bilião de bicicletas espalhadas um pouco por todo o mundo, sendo que cerca de 50% delas se encontram na China. Na tabela que se segue apresentam-se os países que contêm mais bicicletas, bem como a quantidade total de bicicletas que cada país contém individualmente e o ano segundo o qual foi realizada esta contagem.

Tabela 1 - Quantidade de bicicletas nos principais países (Worldometers, 2019).

País	Quantidade	Ano
China	450 000 000	1992
USA	100 000 000	1995
Japão	72 540 000	1996
Alemanha	62 000 000	1996

País	Quantidade	Ano
Brasil	40 000 000	1996
Índia	30 800 000	1990
Indonésia	22 300 000	1982
Itália	23 000 000	1995
Reino Unido	20 000 000	1995
França	20 000 000	1995
Holanda	16 500 000	2000
Canadá	10 150 000	1992
Espanha	6 950 000	1995
Coreia do Sul	6 500 000	1985
Suécia	6 000 000	1995
México	6 000 000	1986
Bélgica	5 200 000	1995
Roménia	5 000 000	1995
Dinamarca	4 500 000	1995
Suíça	3 800 000	1996
Hungria	3 500 000	1995
Austrália	3 300 000	1995
Finlândia	3 250 000	1995
Noruega	3 000 000	1995

A Comissão Europeia reconhece o aumento expressivo nos últimos anos da quota modal referente aos utilizadores da bicicleta, em inúmeras cidades, a partir de uma série de inquéritos (CE, 2009).

No ano de 2000, Portugal apresentava uma taxa muito reduzida de utilização de bicicleta, sensivelmente de 0,3%, encontrando-se apenas à frente de Espanha e Luxemburgo, que apresentavam 0,2% e 0,1%, respetivamente, numa Europa a 15. Por outro lado, no que diz respeito à utilização do automóvel Portugal era o segundo país com maior taxa de utilização, cerca de 82,54%, sendo apenas ultrapassado pelo Reino Unido, que apresentava uma taxa de utilização de 84,18% (Rietveld, 2004). É apresentada em seguida na Tabela 2, a repartição modal em percentagem, de 15 países da União Europeia para o ano de 2000.

Tabela 2 - Repartição modal em percentagem em 15 países da União Europeia no ano de 2000. (Rietveld, 2004).

País	A pé	Bicicleta	Transportes Públicos	Automóvel ^a
Países Baixos	2,96	6,66	14,27	76,11
Dinamarca	2,52	5,48	18,20	73,79
Alemanha	3,16	2,47	17,85	76,52
Bélgica	2,86	2,42	16,09	78,64
Suécia	2,76	1,95	19,20	76,09
Finlândia	2,79	1,82	16,34	79,05
Irlanda	3,23	1,62	17,32	77,83
Áustria	3,42	1,11	24,21	71,26
Itália	2,60	0,97	16,24	80,19
Grécia	3,25	0,63	19,68	76,43
Reino Unido	2,83	0,60	12,39	84,18
França	2,65	0,49	17,75	79,12

País	A pé	Bicicleta	Transportes Públicos	Automóvel ^a
Portugal	3,09	0,26	14,11	82,54
Espanha	3,35	0,18	17,70	78,77
Luxemburgo	3,05	0,00	18,29	78,66
EU 15	2,89	1,42	16,61	79,07

^a Automóveis e veículos motorizados de duas rodas.

De notar que os dados dos censos de 2001⁵ agrupavam velocípedes e motociclos na mesma categoria de modo de transporte para deslocações pendulares⁶. A repartição modal desta categoria era de cerca de 3,26%.

⁵Resultados definitivos (INE, 2002).

⁶Nos censos de 2011, estes modos de transporte foram desagregados, embora até à data ainda não tenham sido divulgados os resultados.

Como referido anteriormente Portugal tem uma utilização diminuta de modos de transporte suaves e apresenta uma elevada utilização do automóvel privado. Pela utilização da ferramenta de divisão modal *TEMS* da *EPOMM*, Plataforma Europeia de Gestão da Mobilidade, é possível efetuar uma análise mais detalhada acerca da repartição modal em 20 cidades portuguesas.

De seguida, apresenta-se o gráfico de repartição modal dessas 20 cidades portuguesas (EPOMM, 2012).

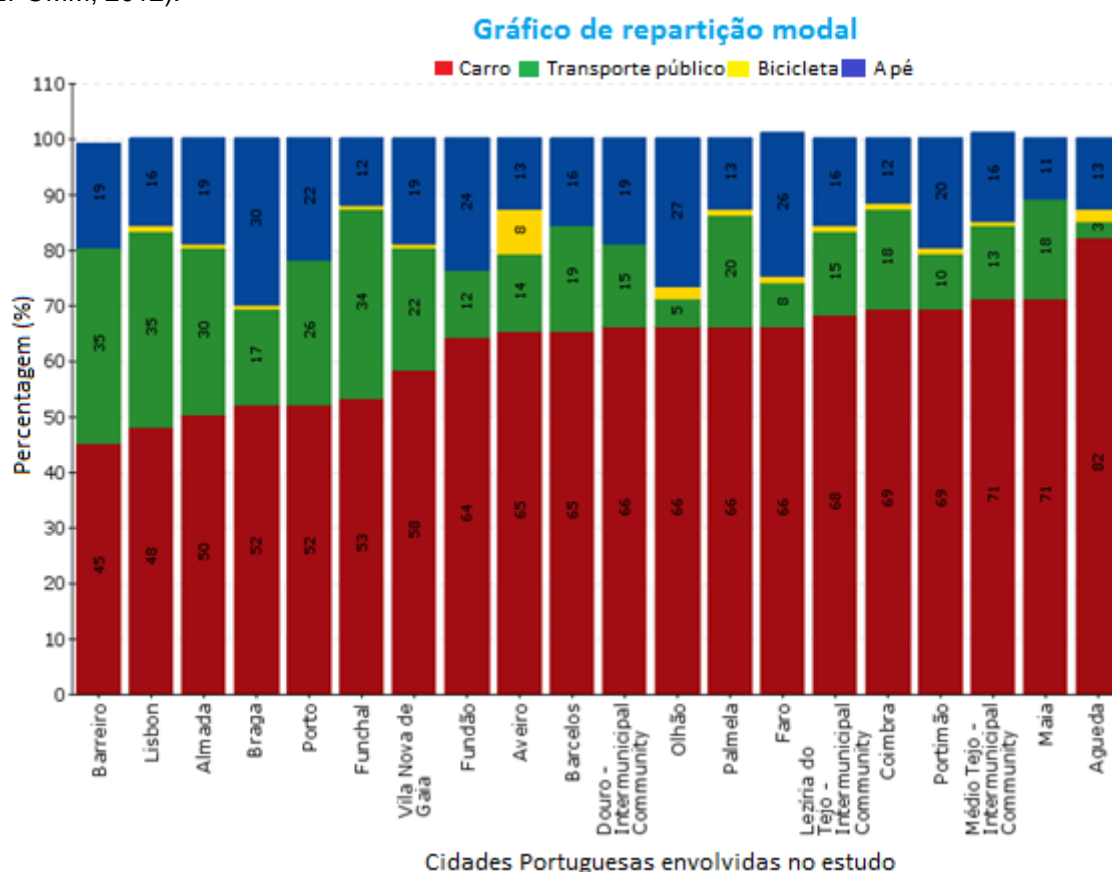


Figura 5 - Repartição modal em 20 cidades portuguesas (adaptado da referência EPOMM, 2012).

Apresenta-se, em seguida, sob a forma de tabela, a repartição modal referente às 20 cidades portuguesas em análise. Como dados complementares ao gráfico anterior, a tabela refere o ano no qual foi realizada a aferição dos valores bem como o número de habitantes de cada cidade em análise, para o respetivo ano.

Tabela 3 - Repartição modal em percentagem de 20 cidades de Portugal e respetivo número de habitantes.

País	Cidade	Ano	População	A pé	Bicicleta	Transportes Públicos	Automóvel
Portugal	Lisboa	2001	2 800 000	16	1	35	48
Portugal	Lezíria do Tejo	2011	247 453	16	1	15	68
Portugal	Médio Tejo	2011	247 331	16	1	13	71
Portugal	Porto	2011	237 584	22	0	26	52
Portugal	Douro	2011	205 157	19	0	15	66
Portugal	Vila Nova de Gaia	2000	178 000	19	1	22	58
Portugal	Almada	2006	174 030	19	1	30	50
Portugal	Coimbra	2006	140 000	12	1	18	69
Portugal	Maia	2001	135 306	11	0	18	71
Portugal	Braga	2001	109 460	30	1	17	52
Portugal	Funchal	2007	100 000	12	1	34	53
Portugal	Barreiro	2011	78 764	19	0	35	45
Portugal	Aveiro	2008	78 000	13	8	14	65
Portugal	Faro	2011	64 560	26	1	8	66
Portugal	Palmela	2011	62 831	13	1	20	66
Portugal	Portimão	2011	55 614	20	1	10	69
Portugal	Águeda	2011	47 729	13	2	3	82
Portugal	Fundão	2011	29 213	24	0	12	64
Portugal	Olhão	2011	28 344	27	2	5	66
Portugal	Barcelos	2011	20 493	16	0	19	65

Pela análise da Tabela 3 é possível concluir que a cidade do Barreiro é a que apresenta uma menor utilização do carro, registando um valor de 45%, sendo seguido da utilização dos transportes públicos, onde se verifica uma taxa de utilização de 35% e por fim das deslocações pedonais que perfazem um total de 19%, não se verificando valores significativos de utilização de bicicleta para esta cidade. Por oposição a este cenário que apresenta uma taxa algo diminuta no que refere à utilização do automóvel privado, surge a cidade de Águeda que regista uma taxa de utilização de 82% do carro, apresentando uma utilização diminuta dos transportes públicos (cerca de 3%), deslocações pedonais na ordem dos 3% e utilização de bicicleta de 2%. Destacada das restantes cidades em análise, surge a região de Aveiro, onde é apresentada uma taxa de utilização de bicicleta de aproximadamente 8%, como tem vindo a ser referido ao longo da dissertação (EPOMM, 2012).

Em resumo, embora não existam dados oficiais resultantes de observação sistemática e monitorização do número de utilizadores de bicicleta em Portugal, tem-se verificado ao longo da última década um investimento progressivo em infraestruturas cicláveis em vários centros urbanos, resultante do entendimento que os atores locais têm no que diz respeito ao incremento da utilização dos modos suaves de transporte pela população, embora o planeamento destas infraestruturas não tenha como base dados objetivos sobre os seus utilizadores e potenciais utilizadores, que alicercem uma melhor tomada de decisão a nível municipal, no que concerne aos investimentos em expansão e melhoria das infraestruturas cicláveis e respetivos equipamentos de apoio.

No que concerne às grandes cidades, a passagem para um sistema de mobilidade mais equilibrado é uma problemática que requer atenção. Devido ao facto dos sistemas não se adaptarem

repentinamente, estes geram implicações no faseamento das políticas. Nos últimos anos têm sido desenvolvidos um conjunto alargado de estudos que abordam a transição dos sistemas de mobilidade e que deste modo, permitem efetuar uma avaliação acerca do quanto as cidades investem na promoção e utilização da bicicleta. Do conjunto de estudos que abordam esta temática, deve-se sobrelevar o programa *Copenhagenize Index* e o programa *PRESTO*.

O Índice *Copenhagenize Index*, que é o inventário mais abrangente do mundo e o ranking das cidades mais amigas da bicicleta (*bicycle friendly*), atribui uma pontuação às cidades em virtude do esforço que estas demonstram relativamente ao estabelecimento da bicicleta como um modo de transporte viável, utilitário e socialmente reconhecido. A avaliação e pontuação das cidades é feita com base num conjunto de parâmetros, nomeadamente: infraestruturas cicláveis, programa de bicicletas de uso partilhado, repartição modal para a bicicleta, aumento da quota modal desde 2006, entendimento de segurança, harmonia de género entre utilizadores de bicicleta, medidas de acalmia de tráfego e planeamento urbano. Pelo facto de nem todas as cidades atuarem incisivamente na mesma altura, as posições das cidades neste ranking vão sofrendo alterações ao longo dos anos. Deste modo, apresentam-se na Tabela 4 os resultados deste ranking para os anos de 2011, 2013 e 2015 (*Copenhagenize*, 2017),

Tabela 4 - Ranking das 20 cidades a nível mundial mais amigas da bicicleta (CI, 2017).

Posição	Ano 2011	Ano 2013	Ano 2015
1º	Amesterdão	[1º] Amesterdão	[2º] Copenhaga
2º	Copenhaga	[2º] Copenhaga	[1º] Amesterdão
3º	Barcelona	[Nova] Utrecht	[3º] Utrecht
4º	Tóquio	[Nova] Sevilha	[Nova] Estrasburgo
5º	Berlim	[Nova] Bordéus	[8º] Eindhoven
6º	Munique	[Nova] Nantes	[9º] Malmo
7º	Paris	[Nova] Antuérpia	[6º] Nantes
8º	Montreal	[Nova] Eindhoven	[5º] Bordéus
9º	Dublin	[Nova] Malmo	[7º] Antuérpia
10º	Budapeste	[5º] Berlim	[4º] Sevilha
11º	Hamburgo	[9º] Dublin	[17º] Barcelona
12º	Guadalajara	[4º] Tóquio	[10º] Berlim
13º	Portland	[6º] Munique	[Nova] Liubliana
14º	Estocolmo	[8º] Montreal	[Nova] Buenos Aires
15º	Helsínquia	[Nova] Nagoia	[11º] Dublin
16º	Londres	[18º] Rio de Janeiro	[Nova] Viena
17º	São Francisco	[3º] Barcelona	[19º] Paris
18º	Rio de Janeiro	[10º] Budapeste	[Nova] Minneapolis
19º	Viena	[7º] Paris	[20º] Hamburgo
20º	Nova Iorque	[11º] Hamburgo	[14º] Montreal

Pela análise da Tabela 4 é possível verificar que para o ano de 2011 as cidades com maior pontuação são Amesterdão, Copenhaga, Barcelona, Tóquio e Berlim. Contudo, no ano de 2013 apenas Amesterdão e Copenhaga se mantiveram no topo da lista, sendo que as restantes deram lugar à entrada de novas cidades para o ranking, nomeadamente às cidades de Utrecht, Sevilha e Bordéus, que passaram desta forma a ocupar o terceiro, quarto e quinto lugares, respetivamente. De notar que a classificação que aparece em parêntesis retos para diversas cidades nos anos de 2013 e 2015 serve como auxílio para efetuar uma célere comparação entre a posição que esta cidade ocupa no ano atual e a posição em que esta se situava no estudo anterior. Tomando como exemplo a cidade de Berlim para o ano de 2013, verifica-se que nesse ano, essa cidade ocupava o décimo lugar da tabela, embora no ranking de 2011 se encontrasse na quinta posição. A notaçã

“nova” entre parêntesis retos serve para identificar que esta cidade não constava do ranking realizado anteriormente.

O programa *PRESTO* (2010) qualifica o nível de desenvolvimento ciclável de cada cidade, por intermédio de condições e infraestruturas cicláveis criadas e repartição modal, classificando as cidades em *starters*, *climbers* ou *champions*, dando o exemplo de uma cidade “iniciante” a cidade de Zagreb na Croácia, onde também se pode inferir que se incluirá cidades portuguesas como Lisboa, Aveiro e Porto, entre outras, como cidade onde se estão a ser criadas de forma evolutiva condições favoráveis ao uso da bicicleta a cidade de Veneza em Itália e como cidade “campeã” a cidade de Bremen na Alemanha. É apresentado em seguida na Figura 6, um gráfico que demonstra como é realizada a classificação das cidades como *starters*, *climbers* ou *champions*, tendo por base a repartição modal e as condições disponíveis para o uso da bicicleta.

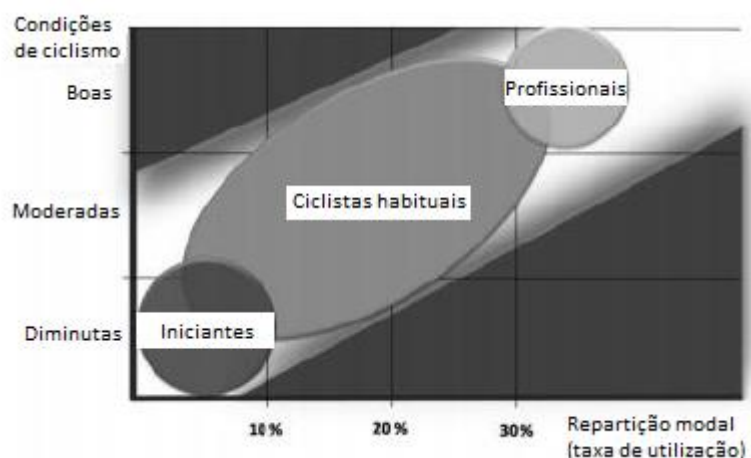


Figura 6 - Classificação das cidades como *starters*, *climbers* ou *champions*, de acordo com a repartição modal e condições para a utilização da bicicleta - Fonte: *PRESTO Cycling Policy Guide*. (Adaptado da referência *European Union's intelligent Energy*, 2010).

Desta forma, torna-se de especial relevância a existência de métricas que possam atribuir uma nota ao planeamento e gestão da mobilidade, sobre o grau de adesão dos utilizadores às políticas e medidas adotadas e acerca do nível de desempenho que vai sendo obtido.

2.2 Aquisição de dados sobre utilização de bicicleta e soluções tecnológicas

O levantamento de dados relativos à utilização de bicicleta tem decorrido por intermédio de diversas soluções.

Têm sido realizadas, em diversas cidades (como, por exemplo, Nova Iorque, São Francisco, Chicago), contagens anuais, de ciclistas em múltiplos pontos das cidades. A realização destas contagens manuais permite não só conjecturar o número de utilizadores de bicicleta numa dada cidade, mas também aferir quais os locais que apresentam maior frequência de passagem dos utilizadores de bicicleta. Por norma, estas contagens são enriquecidas através da realização de inquéritos anuais à mobilidade.

De forma alternativa, algumas cidades [como, por exemplo, Bremen (Alemanha), Budapeste (Hungria), Bolzano (Itália), Christianson (Noruega), Estocolmo (Suécia), Odense (Dinamarca), Portland (EUA)] preferiram instalar um contador ou barómetro de ciclistas em pontos em que se verificasse a passagem frequente dos mesmos. Este contador permite a recolha de dados acerca da passagem de ciclistas, por intermédio de interrupção eletromagnética de uma grelha instalada sob o pavimento. Os dados, categorizados em hora, dia, mês e ano e crescimento relativamente ao mês homólogo do ano anterior, são atualizados de forma automática e exibidos num painel

eletrónico, e posteriormente analisados de forma a monitorizar o progresso da utilização da bicicleta na cidade. A informação é também transmitida diretamente ao centro de controlo de tráfego.

O contador, para além da sua principal função que se baseia na contagem do número de utilizadores de bicicleta, pode motivar potenciais utilizadores de bicicleta a experimentarem.

Na qualidade de geradores de percursos para bicicleta (*bike route planner*), os sistemas de informação geográfica (SIG), podem ser analisados como soluções de recolha de dados, por intermédio de métodos de observação indireta.

2.2.1 Os ciclistas e os critérios na escolha de percursos

Quando comparados com os peões, os ciclistas levam vantagem relativamente a estes, devido essencialmente ao facto de as deslocações que efetuam abrangerem uma área mais extensa (Chorus & Timmermans, 2010).

No entanto, nem todos os ciclistas apresentam o mesmo perfil, pelo que dessa forma, parâmetros como o objetivo segundo o qual se deslocam e a frequência com que se deslocam serão amplamente diversos. A identificação de diferentes categorias de ciclistas é exequível, em função dos diferentes entendimentos acerca de risco e perigo, dos níveis de experiência e dos comportamentos quando introduzidos na circulação motorizada (IMTT, 2011a, p.7).

Na Figura 7 é apresentada uma breve descrição das deslocações efetuadas por razões distintas.

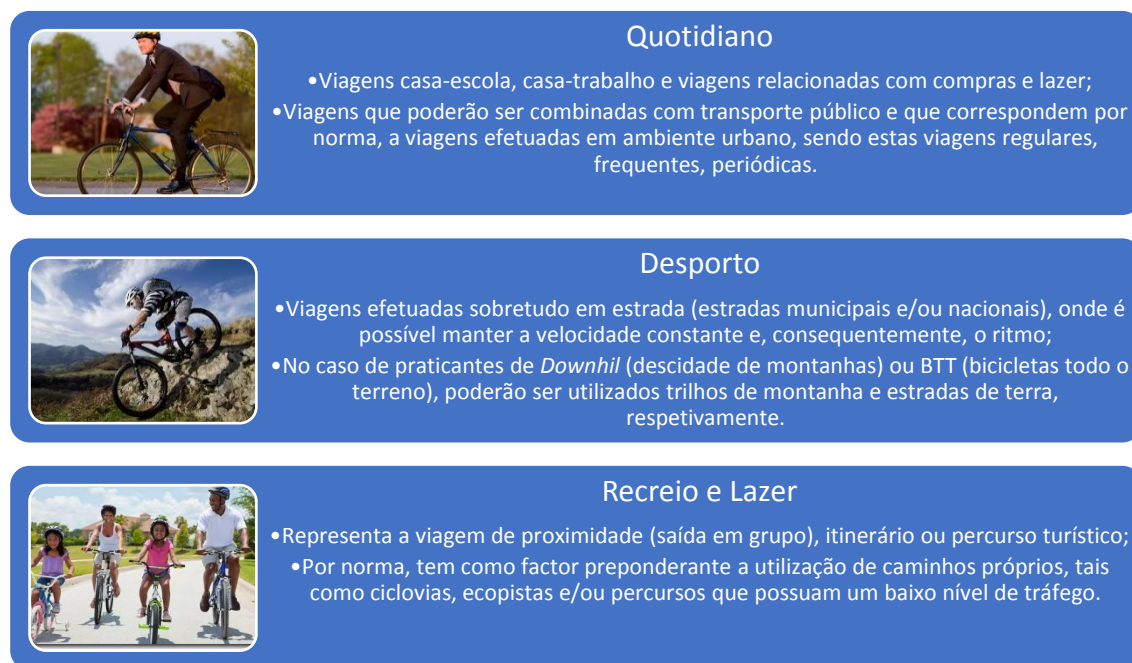


Figura 7 - Descrição das deslocações em bicicleta com diferentes propósitos (IMTT, 2011a, p.7), adaptado.

Apresenta-se, em seguida, uma figura representativa das diferentes categorias de ciclistas existentes na cidade de Portland, Oregon, EUA, segundo a agência *The Portland Bureau of Transportation* (PBOT), que é o órgão responsável pela manutenção da infraestrutura de transporte da cidade (Geller, R., 2009, 29 de Outubro).

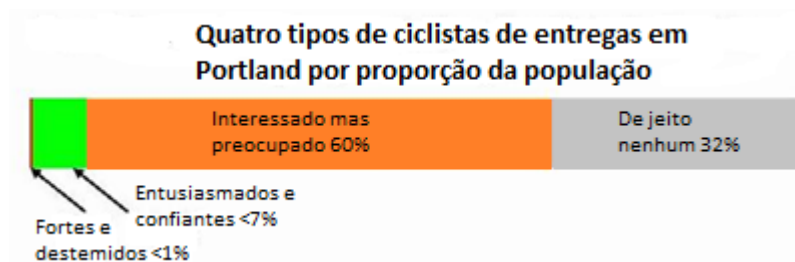


Figura 8 - Categorias de ciclistas na cidade de Portland, EUA (adaptado da referência (Geller, 2009).

Diversos estudos têm abordado a forma como os ciclistas efetuam a escolha dos seus percursos, nomeadamente, quais os critérios que têm em linha de conta aquando da escolha, como os avaliam, e qual a importância que conferem a esses critérios. Hochmair (2004) apoia a ideia de que a escolha de percursos urbanos por ciclistas abrange uma componente de decisão compensatória no sistema de preferências.

Aultman-Hall et al. (1997) georreferenciaram os trajetos de 397 utilizadores de bicicleta com o intuito de fazer a comparação entre os percursos realizados, isto é, entre os percursos escolhidos e os percursos que apresentavam um caminho menor entre os pontos de partida e chegada.

Stinson & Bhat (2003) aferiram, por intermédio da realização de um inquérito, quais os critérios de preferências dos utilizadores de bicicleta. Após a análise dos resultados obtidos, chegaram à conclusão de que o fator preponderante é o tempo (distância). No entanto, existem outros critérios que também são frequentes nas escolhas de percursos, nomeadamente a presença de infraestruturas cicláveis, o tipo de pavimento e a inclinação das vias.

Hochmair (2004), por intermédio da realização de um inquérito a 42 pessoas que utilizam a bicicleta como modo de transporte quotidiano, chegou à conclusão, tendo por base os dados analisados resultante do inquérito, que os fatores mais relevantes para os utilizadores de bicicleta aquando da escolha de percursos seriam a paisagem, a existência de vias destinadas à sua prática, nomeadamente ciclovias e ecopistas, a distância percorrida e evitar vias onde se verificasse tráfego de veículos pesados.

Stinson & Bhat (2005) investigaram as diferenças nas escolhas de percursos entre utilizadores de bicicleta inexperientes e utilizadores experientes. No que diz respeito aos utilizadores inexperientes, o fator mais importante prendia-se com questões de segurança, em especial, com a separação dos utilizadores de bicicleta do tráfego automóvel. Para os utilizadores experientes, o fator preponderante foi o tempo de viagem. No entanto, para este tipo de utilizadores também se mostraram relevantes as infraestruturas cicláveis, estando estas inteiramente ligadas a uma sensação de segurança.

Hochmair (2005) utilizou os dados recolhidos no inquérito realizado no ano anterior e sugeriu a 12 participantes no estudo que os organizassem em classes de critérios. As classes que tiveram uma maior frequência no que respeita à sugestão por parte dos participantes foram a segurança, a rapidez, a simplicidade, a atratividade e o conforto, por esta ordem de frequência. Deste modo, Hochmair determinou assim os critérios mais generalizados e menos objetivos que os utilizadores de bicicleta têm em consideração aquando da escolha de percursos, em que, para a rapidez eram incluídos fatores como pouca semaforização, evitar áreas onde se verifique elevado tráfego pedonal e menor distância. No que concerne à segurança, eram incluídos critérios como evitar cruzamentos onde se verificasse elevado movimento, área segura através da utilização de ciclovias e ecopistas e locais que fossem iluminados durante a noite. Apresenta-se, na Figura 9, a composição das classes de critérios resultantes do estudo de Hochmair (2005), relacionados com a rapidez do percurso.

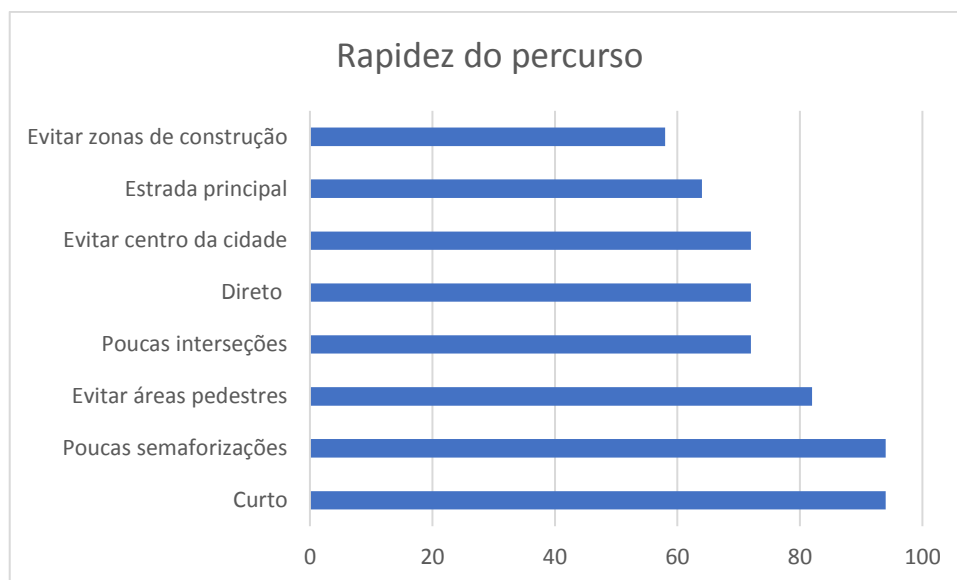


Figura 9 - Critérios relacionados com a rapidez do trajeto por ordem crescente de relevância.

Em seguida, apresenta-se na Figura 10, a composição das classes de critérios resultantes do estudo de Hochmair (2005), relacionados com a segurança do percurso.

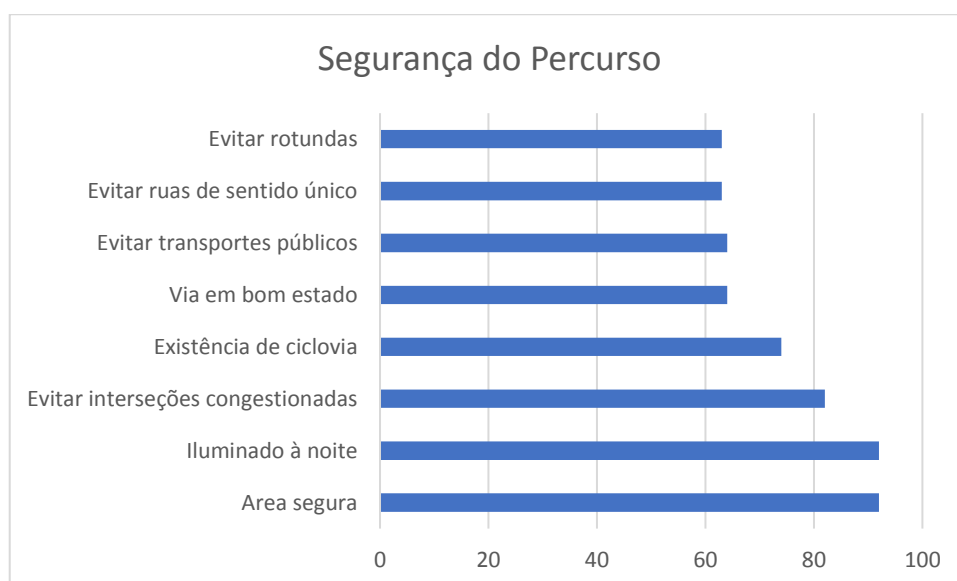


Figura 10 - Critérios relacionados com a segurança do percurso dispostos por ordem crescente de importância.

Harvey & Krizek (2007) exploraram aproximadamente 1000 percursos que foram realizados ao longo de 3 semanas por intermédio de 50 voluntários pertencentes a organizações de ciclistas da cidade de Minneapolis. Os autores do estudo, após uma análise minuciosa dos resultados obtidos, chegaram à conclusão de que nem sempre os caminhos que tinham uma menor distância eram os eleitos pelos utilizadores de bicicleta, devido a motivos diversos, e que por vezes essa diferença pode rondar os 67% para incluir uma ciclovias no seu percurso. Os resultados obtidos não foram esclarecedores, impossibilitando deste modo, a criação de um modelo de escolha de percursos.

Na cidade de Vancouver, no Canadá, Su et al (2010), propõem uma plataforma denominada *Cycle Vancouver*, que embora tenha em linha de consideração vários critérios pertinentes para a

escolha de percursos, esta não permite que os utilizadores de bicicleta combinem esses critérios simultaneamente, sendo os percursos alvitados otimizados para um único critério.

Em Zurique, Menghini et al. (2010) examinaram cerca de 400 percursos comuns de utilizadores de bicicleta e procederam posteriormente à comparação das suas características, de forma a entenderem quais os critérios que estão subjacentes à determinação do comportamento e à escolha de percursos. Os autores deste estudo determinaram, após uma análise cuidada dos resultados obtidos, uma série de fatores importantes aquando da escolha de percursos por parte do utilizador da bicicleta, de entre os quais se destacam as inclinações médias e máximas das vias, o número de semaforizações, a percentagem de ciclovias existente e a distância do percurso.

Ehrgott et al. (2012), propõem um modelo de escolha de rotas sustentado por intermédio de duas funções, sendo elas a adequação de um percurso à bicicleta (qualitativo) e tempo (quantitativo). Para tal ser verosímil, são tidas em conta variáveis como o volume de tráfego automóvel, a velocidade de circulação automóvel, a inclinação das estradas, as condições do pavimento e a presença de infraestruturas cicláveis.

O CEAP (s.d) estabelece, com fundamento na inclinação, as vias que apresentam aptidão total para se efetuar a circulação em bicicleta, estando este valor compreendido entre 0 e 3%. Define ainda vias que se consideram razoáveis para a utilização da bicicleta até médias distâncias, sendo que estas apresentam inclinações compreendidas entre 3 e 5%. A complementaridade destes dados é feita com recurso ao *Guide for the Development of Bicycle Facilities* (AASHTO, 1999), que estabelece as inclinações aceitáveis para se efetuar a circulação em bicicleta até uma determinada distância. Apresenta-se em seguida, a Figura 11, que estabelece a extensão aceitável de percurso consoante a inclinação que a via apresenta.

5-6%	• Aceitável para percursos até 240 m (800 ft)
7%	• Aceitável para percursos até 120 m (400 ft)
8%	• Aceitável para percursos até 90 m (300 ft)
9%	• Aceitável para percursos até 60 m (200 ft)
10%	• Aceitável para percursos até 30 m (100 ft)
+ 11 %	• Aceitável para percursos até 15 m (50 ft)

Figura 11 - Características das vias consideradas aceitáveis para a circulação em bicicleta, mediante a extensão e a inclinação da via (IMTT, 2011a, p.13), adaptado.

A realização da revisão bibliográfica a respeito dos critérios que os utilizadores de bicicleta assumem ter aquando da escolha de percursos possibilitou concluir que o caminho que apresenta uma distância menor nem sempre é o favorito, uma vez que existem inúmeros outros fatores subjacentes a esta escolha, que quando combinados podem ditar outras alternativas.

Alguns artigos que debruçaram o seu estudo na aferição das razões da baixa utilização da bicicleta em diversos países, concluíram que a segurança subjetiva é o principal obstáculo a ser superado. As pessoas não andam de bicicleta porque não se sentem seguras para o fazer num ambiente hostil ao ciclismo (Akar e Clifton, 2009; Dill and Car, 2003; Milakis, 2015).

Por outro lado, outros critérios são objetivos, tais como a inclinação das vias ou a distância dos percursos, e permitem a sua medição direta. No entanto, embora possa ser realizado um estudo minucioso que determine de forma aproximada quais os fatores preponderantes para os ciclistas aquando da escolha de percursos, esta aproximação terá múltiplas falhas, muito devido ao facto de certas decisões apenas serem tomadas já durante a realização da travessia e nem sempre serem planeadas de antemão.

2.2.2 O papel das ferramentas de planeamento de percursos – Bike Route Planners

As ferramentas de planeamento de rotas, *route planners*, têm registado um aumento acentuado na última década, muito devido à proliferação das tecnologias da informação e comunicação (TIC), em concreto, dos sistemas de posicionamento global (GPS) para os quais se vocacionaram. Assim, os *bike route planners* têm surgido como uma espécie de extensão das ferramentas anteriormente referenciadas, embora nem sempre apresentando as melhores soluções. De facto, os resultados mais interessantes obtidos através de plataformas de planeamento de percursos assentam em algoritmos mais específicos para a bicicleta, todavia incorporam apenas algumas cidades onde a utilização deste modo de transporte é feita de uma forma mais intensa ou frequente.

Embora se verifique a existência de inúmeras ferramentas de planeamento de rotas de bicicleta, as plataformas de planeamento de percursos, a modelação e maneira segundo a qual os utilizadores da bicicleta elegem os seus percursos é raramente mencionada na literatura, o que torna, por conseguinte, esta tarefa um verdadeiro desafio. A seleção de trajetos por parte dos automobilistas pressupõe de antemão que estes se comportam todos da mesma forma e que apenas possuem um único objetivo de deslocação que se prende com a minimização do custo ou tempo associado à viagem que pretendem efetuar.

Com efeito, os geradores de percursos para utilizadores de bicicleta diferem largamente dos convencionais planeadores de rotas, uma vez que integram outras variáveis aquando do cálculo para a determinação do caminho de menor custo para o ciclista, principiando de uma modelação distinta da rede de acessibilidades, que transparece a especificidade da bicicleta, isto é, as suas condicionantes próprias, bem como a sua flexibilidade e versatilidade em ambiente urbano.

Lisboa ainda não possui um sistema de planeamento de rotas para mobilidade ciclável que permita a geração de percursos efetivamente viáveis e que vão ao encontro das opções tomadas de facto pelos utilizadores, nomeadamente no que concerne ao cálculo do melhor percurso a realizar entre um determinado ponto A e B, utilizando como modo de transporte a bicicleta. Embora se registre algum interesse na cidade do Porto relativamente à implementação de uma plataforma de planeamento de percursos que permita a geração eficiente de rotas, este ainda não foi colocado em prática, pelo que apenas existem aplicações que facilitam a pesquisa de determinados percursos, embora não vão ao encontro do que os utilizadores realmente desejariam. De entre as aplicações mais usuais para otimização de rotas em cidades Portuguesas pode-se destacar a *Bikemap* e a *MapMyRide*. A cidade de Aveiro não dispõe de qualquer plataforma de planeamento de percursos, ainda que, como referido anteriormente, revele uma taxa de utilização de bicicleta acima da média nacional. Em suma, conclui-se que é importante a implementação de um sistema de planeamento de percursos em diversas cidades portuguesas, dado não só a motivação que a criação de um sistema deste género pode criar na população, mas também para melhorar a qualidade de vida dos cidadãos.

A título de exemplo, o *Via Michelin*, que é um dos planeadores de percursos mais prestigiados não tem em consideração a orografia, fator que é preponderante na seleção de percursos por parte dos utilizadores de bicicleta, o que porventura poderá constituir uma adversidade a quem não possui um conhecimento extensivo com a cidade e tiver a intenção de se iniciar na utilização da bicicleta como modo de transporte.

2.2.3 Análise comparativa de ferramentas disponíveis

Procedeu-se à análise de múltiplas plataformas de planeamento de percursos existentes e avaliou-se as suas funcionalidades e características.

Após a avaliação das funcionalidades e características de várias ferramentas de sugestão de rotas disponíveis para bicicleta, é apresentada em seguida, a Tabela 5, que apresenta uma síntese comparativa das plataformas de planeamento de percursos existentes.

Tabela 5 - Síntese comparativa de plataformas de planeamento de rotas existentes no mercado.

		Google Maps	Cycle Vancouver	Bike Metro	Ride the City	Via Michelin	BB Bike	HSL HRT	Open Route Service	London Cycling Campaign
Características	Sugestão de rotas alternativas					o				o
	Sugestão de itinerário de regresso	o	o	o	o	o	o		o	o
	Permite adicionar pontos intermédios	o				o	o		o	
	Considera a inclinação da via		o	o				o	o	
	Tecnologia <i>Open Source</i>		o				o		o	
	Versão disponível para <i>smartphone</i>	o	o		o	o				o
Dados de entrada	Permite adicionar outra informação ao mapa (<i>layers</i>)	o	o		o		o	o	o	
	Aceita contribuições ou informação para adicionar ao mapa	o	o						o	
	Pede <i>feedback</i> pelo percurso sugerido				o					o
	Período de realização do percurso									o
Dados de saída	Velocidade média		o				o	o		o
	Tipo de rota preferida		o				o	o	o	
	Tipo de pavimento preferido						o	o		
	Nível de tolerância da inclinação		o	o						
	Experiência do ciclista			o						
	Evitar semáforizações						o		o	
	Distância do percurso	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	Tempo de viagem estimado	o	o		o	o	o	o	o	o
	Lista de itinerários de regresso	o	o	o	o	o	o			o
	Perfil altimétrico		o	o			o	o	o	o
	Elevação acumulada		o	o	o					
	Calorias consumidas		o	o				o		o
	Previsão meteorológica							o		
	Número de semáforizações									o
	Exportar percurso para Google Earth		o				o		o	o

São considerados como pontos de relevância que devem constar numa plataforma de planeamento de percursos, as características que se enunciam de seguida:

- Características e funcionalidades:
 - Sugestão de percursos alternativos;
 - Sugestão de itinerário de regresso;
 - Possibilidade de acrescentar pontos intermédios;
 - Ter em linha de conta as inclinações das vias;
 - Ser uma tecnologia *Open Source*;
 - Existir uma versão para *smartphone*;
 - Visualizar outra informação no mapa:

- Rede de ciclovias;
- Rede de transportes públicos;
- Vias preferidas pelos ciclistas;
- Localização de lojas, oficinas de bicicletas e de bombas de ar;
- Localização de parques destinados ao estacionamento de bicicletas;
- Informação de locais propícios a furtos de bicicletas;
- Locais onde se verifique um número elevado de acidentes;
- Outros pontos de relevância;
- Permitir a aceitação de informação para adicionar ao mapa;
- Solicitar feedback acerca do percurso sugerido.
- Dados de entrada:
 - Partida e chegada;
 - Período de realização do percurso – Dia ou Noite;
 - Velocidade média;
 - Tipo de percurso preferencial;
 - Tipo de pavimento preferencial;
 - Grau de tolerância às inclinações das vias;
 - Experiência do utilizador de bicicleta;
 - Evitar determinadas zonas.
- Dados de saída:
 - Distância;
 - Tempo de viagem;
 - Listagem das viagens sugeridas;
 - Perfil altimétrico;
 - Elevação acumulada;
 - Número de calorias consumidas;
 - Previsão meteorológica;
 - Número de semaforizações;
 - Exportação do trajeto para o *Google Earth*.

De entre as plataformas de planeamento de percursos analisadas, apenas dois deles abrangem a cidade de Lisboa, o *Via Michelin* e *BBBike*. Todavia, nenhum deles tem em consideração as inclinações das vias no cálculo do menor trajeto, critério fulcral para que um modelo se adeque a uma cidade que apresente uma orografia irregular.

De notar que nenhuma das plataformas de planeamento de percursos mencionadas revela o seu algoritmo e função de cálculo do caminho de menor custo, sendo apresentadas apenas umas pistas acerca do método de aquisição de dados, como é o caso de *Su et al* (2010), acerca de algumas variáveis consideradas na plataforma *Cycle Vancouver*.

Assim, por forma a permitir um melhor entendimento ao leitor acerca das funcionalidades relativas a cada plataforma de planeamento de percursos existente no mercado, aconselha-se a visualização do Anexo A deste documento, no qual estão mencionadas em pormenor as funcionalidades e limitações presentes em cada plataforma de planeamento de percursos referida anteriormente.

Ryu et al (2015) consideram que as bicicletas constituem uma parte importante do sistema de transporte de uma comunidade e que são vitais para o sucesso de desenvolvimentos orientados para o trânsito. No entanto, afirmam que as bicicletas são frequentemente colocadas de parte aquando do planeamento de transporte e modelação de previsão de demanda de viagens. Contudo, consideram que a prática atual na modelação de viagens de bicicleta numa rede é inadequada, referindo que apenas alguns esforços de investigação se concentram na análise de rede para

viagens de bicicleta (por exemplo, Klobucar e Fricker, 2007; Broach et al., 2011; Mekuria et al., 2012). Estes métodos fornecem um esforço inicial para desenvolver um método de trânsito para viagens efetuadas com recurso à bicicleta, sendo, no entanto, muito simplistas, isto é, funcionam simplesmente tendo por base o método de atribuição de tudo ou nada, usando uma única medida de atratividade (por exemplo, distância, segurança ou uma medida composta de segurança multiplicada pela distância).

Ryu et al (2015) referem que ao comparar o comportamento de escolha de percursos para motoristas de veículos motorizados particulares, o comportamento de escolha de rotas para ciclistas é muito mais complexo. Existem inúmeros fatores influentes que afetam as decisões de escolha da rota do ciclista. Inúmeros estudos empíricos relativos à análise da escolha de percursos de bicicleta indicam que os ciclistas escolhem as rotas tendo por base vários critérios, dos quais podemos destacar a distância do percurso, o número de interseções, a inclinação da via, instalações para bicicletas, entre outros. Pelo facto de existir um conjunto diversificado de fatores que influenciam as viagens de bicicleta, muitos planeadores de percursos fornecem uma variedade de rotas de bicicleta com base em diferentes fatores (por exemplo, rota de menor elevação, rota de menor distância, rota mais segura, rota onde se verifica um menor número de acidentes, rota onde se verifica menor poluição, rota com espaço verde, etc.) para satisfazer os requisitos dos diferentes ciclistas. Apresenta-se, de seguida, a Tabela 6, que reúne alguns planeadores online de viagens de bicicleta nos Estados Unidos da América, sendo referido para cada um dos planeadores, o tipo de rotas que eles fornecem. De notar que todas as rotas fornecidas são baseadas num único objetivo, ou seja, o caminho mais curto baseado na distância ou na rota mais segura com base em alguma medida de segurança.

Tabela 6 - Planeadores de rotas disponíveis nos Estados Unidos da América.

Planeador de rotas	Rotas fornecidas
<i>Los Angeles Route Planner</i> (http://opt.berkeley.edu)	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar o aumento de elevação • Evitar a poluição • Preferência de espaço verde • Evitar acidentes de bicicleta anteriores
<i>San Francisco Bicycle Trip Planner</i> (http://amarpai.com/bikemap)	<ul style="list-style-type: none"> • Caminho mais curto • Rota equilibrada • Rota amigável para bicicletas • Restrições no gradiente
<i>Sacramento Region Bicycle Trip Planner</i> (http://www.sacregion511.org/bicycling/trips)	<ul style="list-style-type: none"> • Caminho mais curto • Rota amigável para bicicletas
<i>Vancouver Cycle Trip Planner</i> (http://cyclevancouver.ubc.ca)	<ul style="list-style-type: none"> • Caminho mais curto • Poluição no tráfego reduzida • Ganho de menor elevação • Caminho com vegetação • Restrições no gradiente
<i>Washington D.C. Bike Planner</i> (http://bikeplanner.org)	<ul style="list-style-type: none"> • Caminho mais curto • Ganho de menor elevação • Rota amigável para bicicletas
<i>New York City Bike Map</i> (http://www.nyc.gov/html/dot/html/bicyclists/bike_maps.shtml)	<ul style="list-style-type: none"> • Caminho mais curto • Rota segura • Rota mais segura

Com efeito, é possível afirmar que análise da tabela anterior que o critério “caminho mais curto” é um fator preponderante aquando da escolha de percursos. Também o conceito de “rota segura” tem elevada importância, estando implícito na maioria dos critérios de escolha de percursos.

2.2.4 Os SIG como ferramenta de apoio à gestão da mobilidade urbana

As ferramentas de geração de percursos para bicicleta podem também ter relevância na gestão da mobilidade urbana, nomeadamente, quando os dados que estes geradores de percursos permitem obter não são facilmente adquiridos por intermédio de métodos de observação direta.

A geração de informação por intermédio de um *bike route planner* sobre locais frequentes de origem e destino para trajetos de bicicleta, pode ser efetivamente utilizada com um recurso não oneroso para a estimação do uso da bicicleta em múltiplas vias de uma cidade, e para identificar eventuais troços em que porventura um investimento em infraestruturas cicláveis permitiria beneficiar um grande número de utilizadores de bicicleta bem como motivar outros potenciais ciclistas a utilizarem a bicicleta nestes locais (Hochmair, 2009; Fu & Hochmair, 2009).

Hochmair (2012) recomenda ainda que é fundamental fazer a distinção entre os percursos que são pesquisados apenas como um teste numa ferramenta de geração de percursos e aqueles que são efetivamente realizados pelos utilizadores de bicicleta. De forma a que tal seja conseguido, Hochmair sugere que se questione diretamente o utilizador, na plataforma *online*, acerca das intenções da sua pesquisa, isto é, se apenas tem carácter exploratório ou se irá verdadeiramente efetuar essa viagem entre a origem e destino referidos. Hochmair (2012) menciona ainda que saber a frequência com que o utilizador da bicicleta efetua determinado percurso seria um dado interessante para a gestão da mobilidade.

Em Janeiro de 2012, a *Transport for London* lançou um mapa interativo que continha o registo da localização de 4274 acidentes que envolveram bicicletas, entre Agosto de 2010 e Julho do ano seguinte. Para cada acidente georreferenciado, é apresentada a informação relativa à gravidade do acidente, à data em que o mesmo ocorreu, ao género do ciclista e aos veículos envolvidos no desastre (Quilty-Harper, 2012). Apresenta-se, em seguida, na Figura 12, um exemplo do mapa interativo de registo de acidentes com bicicletas, onde é possível verificar os parâmetros anteriormente mencionados. A georreferenciação dos acidentes permite revelar as zonas mais perigosas, evidenciadas na figura anterior por pontos negros, para se utilizar a bicicleta. Esta informação é extremamente útil para os utilizadores de bicicleta aquando da escolha dos seus percursos, na perspetiva em que estes possam querer evitar pontos negros de acidentes e circularem em zonas teoricamente mais seguras.

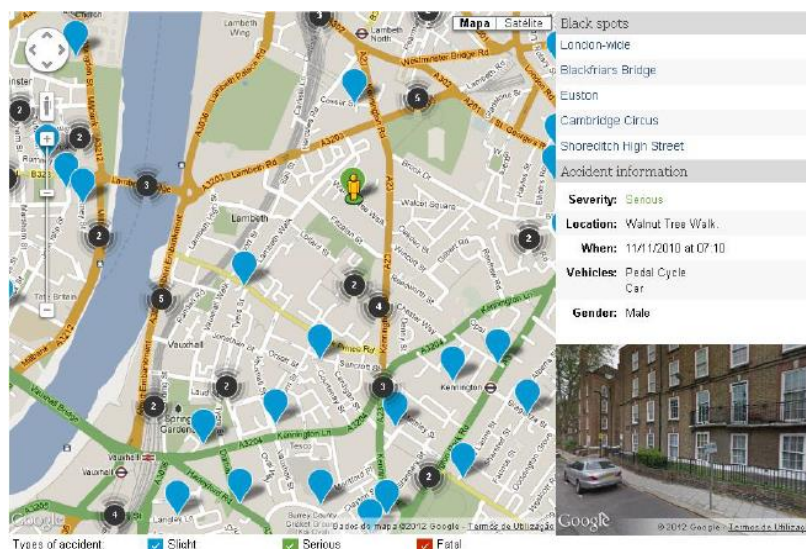


Figura 12 - Exemplo do mapa interativo de registo de acidentes envolvendo ciclistas (Quilty-Harper, 2012).

Com efeito, a possibilidade de se possuir um mapa colaborativo, no qual seja permitido que qualquer pessoa acrescente informação, faz com que mais informação seja introduzida, informação essa que por vezes devido à especificidade da bicicleta não passa pelos meios oficiais de registo de acidentes. Tendo por base esta informação, é então verosímil a tomada de medidas que permitam prevenir ou, pelo menos, atenuar a sinistralidade rodoviária em determinados locais específicos de uma cidade.

É apresentado em seguida, na Figura 13, um gráfico que evidencia como os acidentes de bicicleta se encontram centrados em torno das horas de ponta, períodos em que se verifica uma maior utilização de bicicletas e um maior tráfego automóvel, tendo como consequência um maior registo de acidentes.

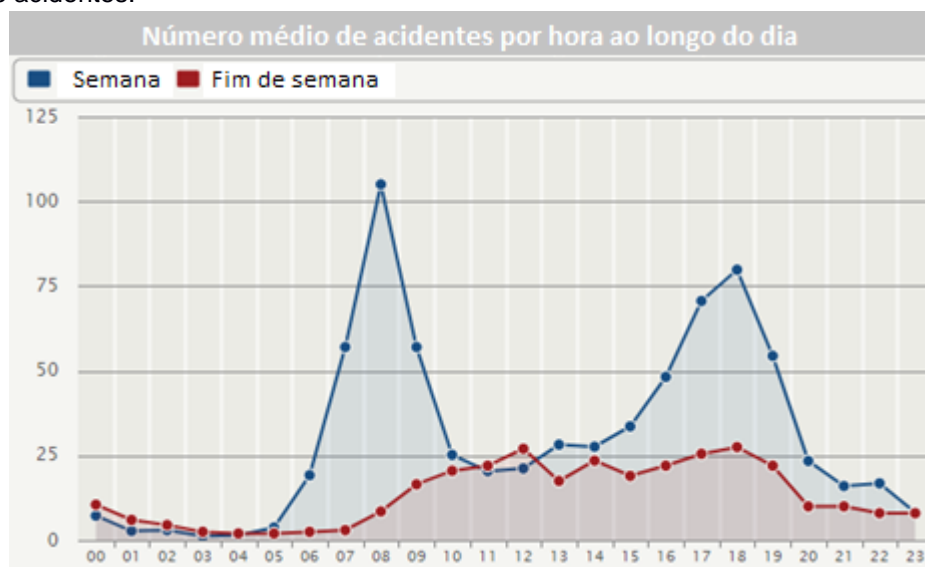


Figura 13 - Número médio de acidentes por hora ao longo do dia (adptado da referência Quilty-Harper, 2012).

De seguida, é apresentado na Figura 14, um gráfico que mostra que a maioria esmagadora de acidentes com bicicletas envolvem veículos ligeiros de passageiros, sendo estes responsáveis por 2970 acidentes, dos 4274 acidentes registados durante o período considerado.

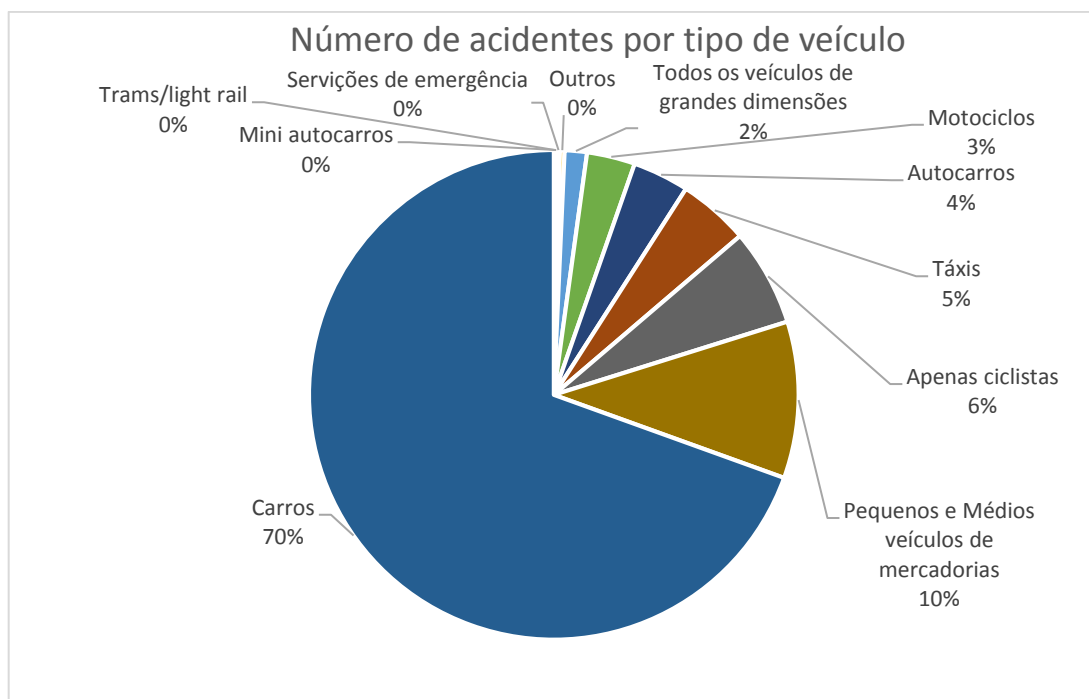


Figura 14 - Número de acidentes por tipo de veículo (adaptado da referência Quilty-Harper, 2012).

Da análise do gráfico da Figura 14, é possível verificar que cerca de 70% dos acidentes envolvendo bicicletas têm também a presença de veículos ligeiros de passageiros. De seguida aparecem os veículos pesados de mercadorias (HGVs) que apresentam uma percentagem de 10% e com 5% os ciclistas que se despistam por algum motivo sem que este seja causado pelo contacto com outro tipo de veículos (*cyclist(s) only*). As categorias restantes mencionadas nos gráficos apresentam valores algo residuais no que concerne a acidentes que envolvam ciclistas pelo que as percentagens relativas a estas categorias são extremamente diminutas.

Contudo, embora os acidentes com ciclistas envolvendo veículos ligeiros de passageiros apresentem a maior fatia do gráfico, os utilizadores de bicicleta têm 78 vezes mais hipóteses de morrer caso estejam envolvidos numa colisão com um veículo pesado de mercadorias (HGVs), sendo que os acidentes de ciclistas envolvendo veículos ligeiros de passageiros geram frequentemente menos danos aos ciclistas.

Posto isto, apresenta-se de seguida, na Figura 15, um gráfico que mostra as taxas de acidente discriminadas por tipo de veículo.

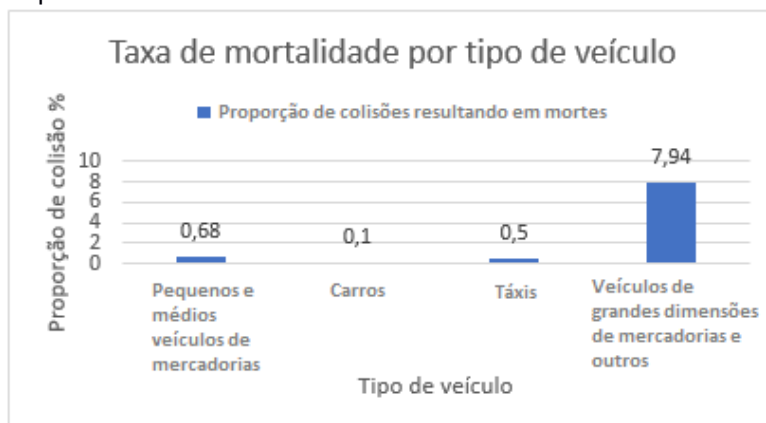


Figura 15 - Taxa de acidente por tipo de veículo (adaptado da referência Quilty-Harper, 2012).

A Câmara Municipal de Lisboa tem também em sua posse, uma plataforma de informação de ocorrências no espaço público denominada “Na Minha Rua”, plataforma criada no ano de 2009 no âmbito do Programa SimpLis e administrada desde então pela própria autarquia. Na plataforma anteriormente referida existe a possibilidade de georreferenciar e identificar um local que apresente problemas no que concerne à manutenção da ciclovias e ecopistas e também de é possível identificar determinados locais em que seja considerado importante a construção de uma ciclovias por parte dos utilizadores de bicicleta. Esta informação é avaliada à posteriori pela Câmara Municipal de Lisboa, que decidirá se deve ou não fazer uma intervenção. De referir que para cada ocorrência é permitido anexar uma fotografia do local onde ocorre. Assim, com o intuito de fornecer um melhor entendimento acerca da plataforma “Na Minha Rua”, apresenta-se, de seguida, a Figura 16, na qual se indicam os passos a seguir para se proceder à identificação de uma ocorrência através desta plataforma.

A imagem mostra a interface da plataforma "Na Minha Rua" com cinco passos para reportar uma ocorrência:

- 1. Selecionar Tipologia:** Um menu lateral com opções como "Anexos e Espaços Verdes", "Equipamentos Municipais - Cultura", etc.
- 2. Onde é a Ocorrência?:** Campos para "Morada" e "Pergunta" com um botão de pesquisa "Q".
- 3. Descrição:** Um campo de texto para descrever o problema.
- 4. Fotografia:** Um botão "adicionar Foto 1" com um ícone de adição.
- 5. Finalizar:** Campos para "Morada", "Tipologia" e "Descrição" com um botão "Finalizar".

Na base de cada passo, há botões "Anterior" e "Seguinte" para navegação.

Figura 16 - Identificação de uma ocorrência relacionada com ciclovias na plataforma “Na Minha Rua”.

Pela observação da Figura 16 é possível verificar os cinco passos necessários para identificar uma determinada ocorrência na plataforma “Na Minha Rua”. De notar que a permissão de inserção de uma fotografia do local no passo número 4 facilita um melhor entendimento por parte de quem analisa estes dados, o que permite uma célere intervenção, sempre que se verifique a sua necessidade.

Com efeito, as soluções de levantamento de dados exibidas ao longo deste capítulo, poderão ser integradas num único sistema de informação de apoio ao planeamento e gestão da mobilidade ciclável, numa determinada cidade.

2.3 Informação de suporte à gestão da mobilidade urbana

Encontram-se vários manuais técnicos e guias que compilam um determinado conjunto de soluções de relevância a aplicar no planeamento e projeto de uma rede ciclável. Por norma, estes são amplamente abrangentes no que concerne a soluções para pistas cicláveis, ciclovias, interseções, marcações e sinalética. Na Tabela 7, são apresentadas algumas referências para conjuntos de soluções a aplicar no planeamento de redes cicláveis.

Tabela 7 - Referências para agregados de soluções a aplicar no projeto de redes cicláveis.

Título	Autoria
<i>Guide for the development of bicycle facilities</i>	AASHTO (1999)
<i>Planning for Cycling – Principles, practice and solutions for urban planners</i>	McClintock & Severa (2002)
<i>Design manual for bicycle traffic</i>	CROW (2006)
<i>Recommandations pour des Aménagements Cyclables</i>	CERTU (2008)

Título	Autoria
<i>Guide to Road Design – Part 6A: Pedestrian and Cyclist Paths</i>	Austroroads (2009)
<i>Pedestrian and bicycle planning: a guide to best practices</i>	Litman & Victoria Transport Policy Institute (2009)
[PT – Lisboa] Caderno de soluções tipo – Percursos e Corredores	CML (2009)
<i>Infrastructure, programs and policies to increase bicycling: an international review</i>	Pucher, Dill & Handy (2010)
<i>Model Design Manual for Living Streets</i>	Los Angeles County (2011)
<i>Urban Bikeway Design Guide</i>	NACTO – National Association of City Transportation Officials (2011, pp. 288-297)
[PT] Rede Ciclável – Princípios de Planeamento e Desenho	IMTT (2011a)

O emprego das soluções no planeamento das redes cicláveis não deverá, em momento algum, ignorar as especificidades do contexto, ainda que, porventura se possa tratar de situações semelhantes, devendo ter sempre em linha de conta a especificidade do local, ao sistema cultural e ao ambiente rodoviário.

Os processos de tomada de decisão por parte dos responsáveis pela gestão da mobilidade podem apresentar vários níveis de decisão e ter tempos de intervenção distintos. Assim sendo, de seguida, serão enumeradas algumas intervenções a efetuar por parte dos gestores da mobilidade, sendo referido o tempo subjacente a cada tipo de intervenção a tomar.

- Ao nível de equipamentos de apoio e de infraestruturas (curto-prazo);
- Ao nível da regulamentação (curto/médio-prazo);
- Ao nível das providências de política urbana (médio-prazo);
- Ao nível do projeto e planeamento urbano (médio/longo-prazo);
- Ao nível do estratagema de desenvolvimento e planeamento de uma cidade (longo-prazo);
- Ao nível sociocultural (longo-prazo);
- Ao nível da mudança de paradigma de desenvolvimento (muito longo-prazo).

Apresenta-se, de seguida, em formato de figura, o esquema da Federação Europeia de Ciclistas, que sugere que qualquer processo de tomada de decisão ou intervenção terá de abranger a mobilidade em bicicleta como uma componente importante do sistema urbano, e em particular do seu sistema de mobilidade, onde várias dimensões do sistema-cidade se revelam, que vai muito para lá da simples construção de infraestruturas de suporte à circulação.

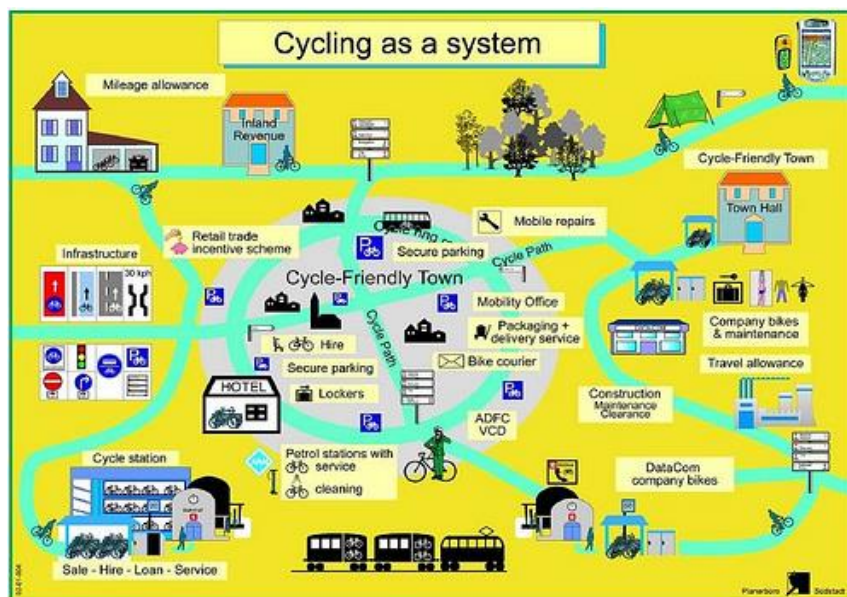


Figura 17 - Mobilidade urbana em bicicleta como um sistema.

Desta forma, e tendo em conta, em especial, os sistemas que se encontram em fase de transição, assume-se como primordial ir para além da simples disponibilidade de informação fornecida pela entidade gestora do sistema. É fundamental alcançar níveis elevados de participação e comunicação com a comunidade de utilizadores de bicicleta de forma a que a mudança possa decorrer com a garantia de interação mútua entre as entidades responsáveis e os utilizadores deste modo de transporte, favorecendo, deste modo, melhores graus de adaptação do sistema.

Em suma, pela revisão bibliográfica apresentada anteriormente, é possível afirmar que as monitorizações experimentais realizadas por ciclistas têm tido um aumento progressivo no decorrer dos anos, uma vez que é cada vez mais importante efetuar deslocações quotidianas recorrendo a modos suaves de transporte. Este crescimento é devido não só ao aumento da preocupação com questões ambientais e mudanças climáticas, mas também é devido à melhoria na saúde dos seus utilizadores. Com efeito, têm sido realizadas monitorizações experimentais que visam sobretudo obter conclusões acerca do percurso mais vantajoso para o utilizador a nível de tempo de viagem, isto é, qual é o trajeto mais célere, deixando de parte parâmetros importantes tais como o consumo energético requerido e a segurança dos ciclistas.

Assim, devido à pouca informação que existe no que respeita ao consumo energético e nível de segurança dos percursos, considerou-se relevante analisar duas subáreas de cidades amplamente distintas no que toca à inclinação média das vias e à densidade de tráfego, visando a obtenção de conclusões, não só no que diz respeito ao aumento de consumo energético que é requerido quando passamos de um percurso realizado numa cidade plana para uma cidade montanhosa mas também no que respeita ao modo como a densidade de tráfego afeta a deslocação dos utilizadores de bicicleta.

3. Metodologia

Num primeiro momento, realizou-se uma aferição dos fatores primordiais para os ciclistas no que respeita à seleção de percursos, tendo sido essa recolha de dados feita através da consulta de vários questionários que abordavam esta temática.

Em seguida, procedeu-se à seleção de duas subáreas de estudo, sendo uma delas na cidade de Aveiro, compreendida entre a Universidade de Aveiro e a Estação de Comboios, sendo que os percursos com início na Universidade de Aveiro e término na Estação de Comboios serão referenciados por P1a, P2a e P3a e os percursos com início na Estação de Comboios e fim na Universidade de Aveiro serão mencionados por P1b, P2b e P3b. A outra subárea escolhida teve lugar na cidade do Porto, compreendida entre a Avenida dos Aliados e os Jardins do Palácio de Cristal, sendo que os percursos com início na Avenida dos Aliados e fim nos Jardins do Palácio de Cristal serão referenciados por P4a, P5a e P6a e os percursos em sentido inverso, isto é, com início nos Jardins do Palácio de Cristal e fim na Avenida dos Aliados serão referidos como P4b, P5b e P6b.

Após a seleção das subáreas de análise, efetuou-se monitorizações experimentais que visavam a obtenção de vários parâmetros de relevo, entre os quais podemos destacar a extensão dos percursos, o tempo de realização, o consumo energético, a inclinação das vias e o número de conflitos existentes entre o ciclista e os automobilistas.

Por fim, após a obtenção dos parâmetros desejados, efetuou-se um tratamento de dados exaustivo com vista à obtenção de conclusões acerca dos percursos mais vantajosos para os utilizadores de bicicleta consoante o tipo de finalidade a que se destinam as suas escolhas.

Na Figura 18 são apresentadas as etapas metodológicas principais adotadas para a realização da dissertação.

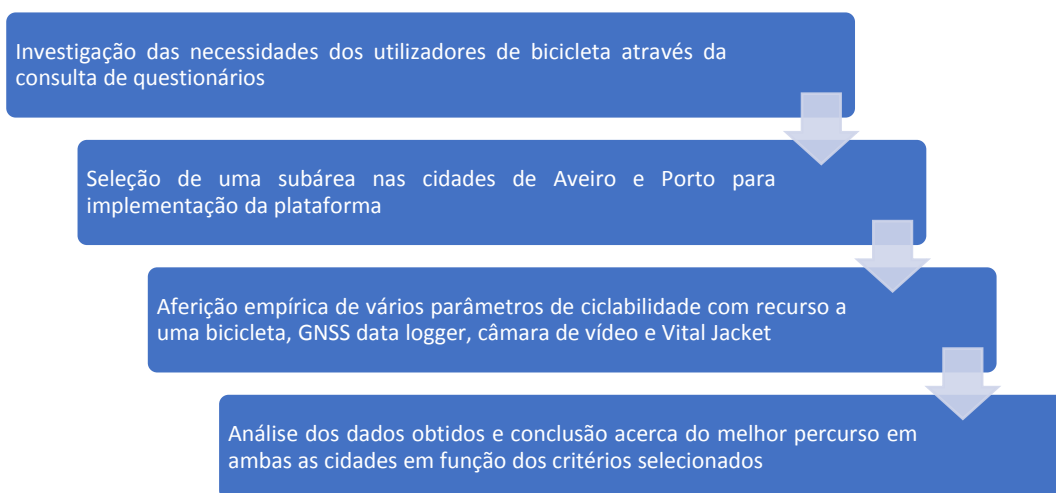


Figura 18 - Metodologia adotada para a realização da dissertação.

3.1 Aferição dos critérios de interesse na escolha de rotas

A metodologia adotada no presente trabalho assenta num levantamento de dados provenientes de artigos e inquéritos realizados aos utilizadores de bicicleta com vista à aferição de quais os critérios determinantes aquando da seleção das suas rotas.

Para encorajar uma transferência modal para o ciclismo, o Governo Irlandês introduziu uma série de medidas, incluindo o estabelecimento de uma Rede Nacional de Ciclismo de 2000 km. Esta rede ligará todas as grandes áreas urbanas da Irlanda, abrindo extensas rotas ruais. Dada a

população dispersa da Irlanda, um processo robusto de seleção de rotas será fundamental por forma a maximizar os benefícios da rede criada, sendo que a identificação de fatores que afetam o processo de seleção de rotas é vital (Manton & Clifford, 2013).

Na Irlanda, as ciclovias são projetadas para facilitar um ou mais dos três principais grupos de usuários: ciclista habitual, cicloturistas e ciclistas de lazer (NRA, 2010). Cada um desses grupos de utilizadores contém um conjunto de pontos de interesse e características de ciclovia, que se encontram na Tabela 8.

Tabela 8 - Grupo de utilizadores e pontos de interesse (DRD, 2000; Fáilte Ireland, 2007; DFT, 2008; Lumsdon et al, 2009; Transport Scotland, 2011).

Grupo de utilizadores	Pontos de interesse	Características da ciclovia
Cicloturistas	Atrações históricas Atrações culturais Paisagens Aeroportos e Portos Marítimos	Longa distância Circulação fora das vias destinadas a ciclismo Vias cuidadas
Ciclistas de lazer	Atrações turísticas Paisagens Locais de diversão com bicicleta	Confortável Amigável e segura para as crianças Vias cuidadas
Ciclista habitual	Cidades e vilas Locais de trabalho Escolas Compras Transporte de mercadorias	Permitam deslocação direta e rápida Possibilitem uma deslocação segura sempre separadas das vias destinadas a carros.

Outro estudo realizado na cidade de Londres, inseriu o seu foco nas decisões que os ciclistas em Londres tomam aquando da escolha de qual a rota a seguir e na importância relativa das características dos diferentes percursos disponíveis. O estudo analisou também preferências e atitudes mais gerais entre os ciclistas. A amostra para este estudo foi de 2307 ciclistas, dos quais 1405 vieram de duas bases de dados de contactos da *TFL*, sendo que os restantes advieram do painel *Research Now* (Transport for London, 2012).

A cada entrevistado foi mostrado um total de 12 cenários. Os três atributos principais testados no modelo foram: o tempo de viagem, qualidade da via e natureza da estrada (estrada urbana ou rural, sendo que este último atributo levou em linha de conta o volume de tráfego e a velocidade dos automobilistas (Transport for London, 2012).

Em todos os ciclistas, as principais considerações em torno da escolha de percursos centraram-se na escolha de rotas mais seguras e que evitassem o tráfego (seja a pedalar numa ciclovia com separação física da estrada para automóveis, seja a pedalar em estradas onde o volume de tráfego é diminuto). Em particular, a maior pontuação em todos os grupos foi para a afirmação “Eu preferiria andar de bicicleta numa ciclovia, mesmo que isso significasse uma deslocação maior” (Transport for London, 2012).

Verificou-se também que os ciclistas nem sempre escolhem o percurso mais direto ao realizar uma viagem, sendo que nem mesmo os ciclistas mais experientes o fazem (Transport for London, 2012).

Observou-se também que as mulheres inquiridas tinham muito maior propensão a preferir rotas mais seguras, longe de outro tráfego e de cruzamentos congestionados (Transport for London, 2012).

Por último, foi possível observar que aqueles que apresentavam uma menor experiência de ciclismo em Londres, ou seja, menos de 2 anos, também apresentavam maior consciência no que toca à segurança ao pedalar, preferindo viajar em percursos com menos tráfego e que

apresentassem ciclovia, evitando desta forma cruzamentos com elevado grau de congestionamento (Transport for London, 2012).

Por fim, como último artigo relevante no que respeita aos critérios subjacentes à escolha de percursos pelos utilizadores de bicicleta, apresenta-se em seguida dados relativos ao comportamento que os ciclistas têm aquando da escolha dos trajetos a realizar, tendo este estudo tido lugar na Austrália.

No que respeita ao propósito da viagem, o ciclista pode ser classificado em dois grupos: ciclista pendular ou ciclista recreativo (Hunt Abraham, 2007). Os ciclistas pendulares utilizam a bicicleta para trabalhar ou estudar (Larsen & El-Geneidy, 2011), enquanto que o ciclista recreativo usa a bicicleta para lazer e normalmente realiza viagens curtas (Raith, Van Houtte, Wang & Ehrgott, 2009). Desta forma, os dois grupos de ciclistas distintos apresentam também preferência distintas, já que os ciclistas pendulares preferem viagens que demorem o menor tempo possível e vias com baixo volume de tráfego, enquanto que os ciclistas recreativos prestam mais atenção à paisagem e à inclinação da estrada (Ehrgott, Wang, Raith & Van Houtte, 2012), (Menghini, Carrasco, Schussler & Axhausen, 2010), (Chen & Chen, 2013).

Por outras palavras, as preferências de escolha de percursos dos ciclistas pendulares estão mais baseadas no destino, enquanto que o ciclista recreativo prefere o lazer. Além disso, (Caulfield, Brick & McCarthy, 2012), sugerem que os ciclistas pendulares se preocupam mais com a distância do percurso do que propriamente com os restantes fatores, contrastando com os ciclistas que pedalam com outros fins. Isto advém do facto dos ciclistas pendulares estarem possivelmente sob pressão de tempo para chegar ao seu local de trabalho (Noel & Lee-Gosselin (2002).

Para o estudo em causa foram considerados 7 fatores principais, sendo eles a distância, o tempo de viagem, a segurança perante elevada densidade de tráfego e cruzamentos, a inclinação das vias, a paisagem, a segurança durante a viagem e a qualidade das vias. Assim, dos parâmetros considerados para este estudo, verificou-se que a distância e o tempo associado à realização da viagem foram os critérios que os utilizadores acharam mais relevantes ter em linha de consideração aquando da escolha do percurso a realizar (Yang & Mesbah, 2013).

Assim, a informação adquirida através da consulta de questionários semelhantes aos anteriormente apresentados, pode ser incorporada num sistema de informação geográfica (SIG) destinando-se a gerar um modelo de geração de percursos em bicicleta.

Esta informação de base é primordial para o progresso de uma solução informática assente em SIG que faça o levantamento de informação da utilização efetiva e do sistema de predileção dos utilizadores de bicicleta, concedendo-lhes soluções de percursos e, concomitantemente, possibilitando um certo nível de interação com os gestores da mobilidade em bicicleta de uma cidade, a Câmara Municipal, simplificando uma partilha mútua de informação.

Conquanto compenetrado na mobilidade em bicicleta e nas predileções e parâmetros dos utilizadores aquando das escolhas de percursos nas cidades de Aveiro e Porto, os inquéritos consultados englobam também questões alusivas à utilidade e funcionalidade de uma plataforma de apoio a utilizadores de bicicleta na escolha de percursos em ambas as cidades em estudo, utilizando para isso tecnologias SIG, permitindo desta forma que se tenha simultaneamente capacidade para produzir informação relevante para a gestão da rede ciclável e gestão da mobilidade urbana. Deste modo, essa informação obtida poderá ser aproveitada com o intuito de apoiar decisões no que toca ao planeamento e expansão da rede, bem como para recolher opiniões, sugestões e feedback da comunidade de utilizadores de bicicleta de ambas as cidades em análise.

3.2 Definição dos percursos monitorizados na cidade de Aveiro

Após a realização dos inquéritos nas cidades de Aveiro e Porto que visavam a aferição de quais os fatores primordiais que os utilizadores da bicicleta têm em consideração aquando da escolha dos percursos, bem como de possíveis sugestões que estes poderiam eventualmente ter

que se revelassem manifestamente relevantes e que porventura poderiam ser incluídas na requalificação ou construção de vias destinadas a estes utilizadores, seguiu-se a seleção de duas subáreas, uma na cidade de Aveiro e outra na cidade do Porto para implementação da plataforma de monitorização experimental.

No que concerne à cidade de Aveiro, a subárea da cidade escolhida para implementação da plataforma de informação de desempenho foi o trajeto ciclável entre a Estação de Comboios e a Universidade de Aveiro. Consideraram-se três percursos possíveis (denominados 1, 2 e 3).

O percurso 1 partirá da Estação de Comboios de Aveiro com destino à Avenida Dr. Lourenço Peixinho, no qual cobrirá toda a extensão da mesma até chegar à Rotunda das Pontes onde se localiza o Hotel Aveiro *Palace*. De seguida, o trajeto continuará junto à ria até ao Alboi, passando de seguida pela Fábrica Centro de Ciência Viva de Aveiro e chegará à rotunda do Hospital Infante D. Pedro. Por último, o percurso culminará na Universidade de Aveiro, mais exatamente junto ao departamento de Línguas e Culturas, uma vez que este é o primeiro departamento da Universidade de Aveiro quando se efetua este percurso.

No caso do percurso 2, este terá uma vez mais como ponto de partida a Estação de Comboios de Aveiro. De seguida passará pela Avenida Dr. Lourenço Peixinho onde sofrerá um desvio sensivelmente a meio desta, com o intuito de ir ao encontro da rotunda do Centro Comercial Oita, que se localiza à esquerda desta avenida. Em seguida, passará pela Rua Cmte. Rocha e Cunha e de seguida pela Avenida Santa Joana onde se encontra localizada a Catedral de Aveiro, frequentemente designada por Igreja de São Domingos, e o Museu de Aveiro. Continua o seu trajeto pela Avenida Artur Ravara onde se localiza de um dos lados o Parque Infante D. Pedro e do outro lado o Parque de Santo António até chegar à rotunda do Hospital Infante D. Pedro. Por fim, este trajeto fará a ligação à Universidade de Aveiro, tal como pretendido.

A solução divulgada pela autarquia para o trajeto ciclável entre a Estação de Comboios de Aveiro e a Universidade de Aveiro é o percurso 3 representado a amarelo na figura seguinte. Será construída uma ciclovia pela autarquia de Aveiro, que aprovou o projeto oriundo do Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano da Cidade de Aveiro (PEDUCA). Esta via dedicada partirá da Estação de Comboios, passará de seguida pela Rua Sr. Dos Aflitos onde se encontra o Hipermercado Pingo Doce, seguidamente passará pelo Centro de Congressos e posteriormente pelo Centro de Saúde próximo dos Bombeiros Velhos de Aveiro. Após chegar aos Bombeiros Velhos de Aveiro, o percurso prosseguirá pela Rua Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Aveiro até ao Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Aveiro (ISCA), culminando de seguida na Universidade de Aveiro (UA). Contudo, ainda que esta solução tenha sido aprovada pela autarquia de Aveiro, vários cidadãos e organizações cívicas propuseram 2 percursos alternativos (1

e 2) para fazer a ligação entre a Estação e a Universidade de Aveiro. Estes percursos são possíveis de consultar na Figura 19, estando representados a vermelho (percurso 1) e azul (percurso 2).



Figura 19 - Subárea da cidade de Aveiro escolhida para implementação da plataforma (Fonte forografia aérea: Google Maps).

A explicação para a escolha destes 3 percursos de ligação entre a Estação e a Universidade de Aveiro prende-se com a realização de um inquérito por parte da associação Ciclaveiro (Ciclaveiro, 2017) tendo sido este motivado pela ausência de auscultação e envolvimento por parte de utilizadores de bicicleta aquando da escolha do percurso mais vantajoso por parte da autarquia de Aveiro. Assim, o Ciclaveiro decidiu avançar com um inquérito questionando atuais e potenciais utilizadores de bicicleta na cidade de Aveiro acerca das suas opiniões sobre possíveis percursos para um trajeto ciclável entre a Estação de Comboios e a Universidade de Aveiro.

Foram obtidas respostas válidas de 194 pessoas, sendo que 115 delas efetuaram a sua resposta até um período de 12 horas após o inquérito ter sido colocado, o que reflete claramente a importância que este assunto possui e o interesse que o mesmo suscita nos cidadãos. Destes, à pergunta “Com que frequência utiliza a bicicleta na cidade de Aveiro” houve:

- 76 utilizadores, isto é, 39% que responderam “Várias vezes por semana”;
- 30 utilizadores (16%) que responderam “Várias vezes por mês”;
- 53 utilizadores (27%) que responderam “Ocasionalmente”;
- 35 utilizadores (18%), que responderam “Nunca ou quase nunca, mas consideraria utilizar caso existissem melhores condições”.

Neste inquérito foram também apresentadas as três sugestões de percursos indicadas na figura anterior e colocada a questão “*Dos três percursos sugeridos na imagem, indique quais considera o melhor, o segundo melhor, e o pior, para a construção de um trajeto ciclável / ciclovia que sirva as deslocações entre a Estação, a Universidade e a cidade e que mais contribua para a promoção da mobilidade em bicicleta em Aveiro*”.

De entre as hipóteses apresentadas, cerca de 89% dos inquiridos considerou o percurso 1, representado a vermelho, ou o percurso 2, representado a azul, como melhor opção para o trajeto ciclável. Apresenta-se em seguida, na Figura 20, em forma de gráfico, as opiniões dos 194 inquiridos sobre os percursos sugeridos.

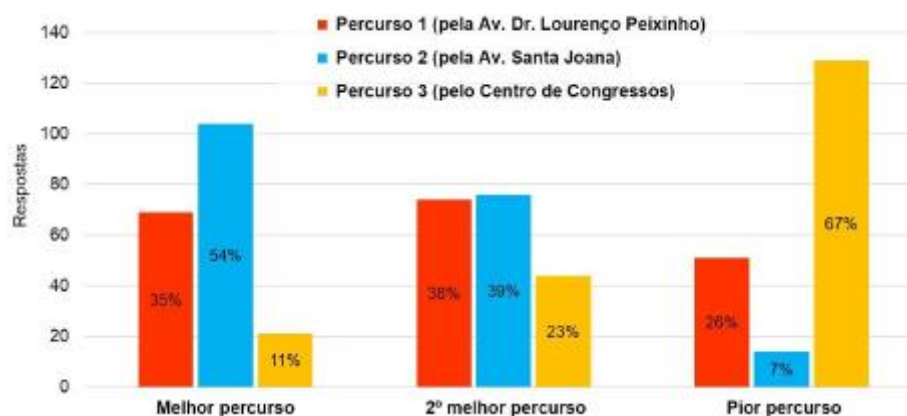


Figura 20 - Opiniões dos 194 inquiridos sobre os percursos sugeridos (Ciclaveiro, 2017).

Da análise do gráfico anterior é possível verificar que as escolhas para melhor opção se dividem da seguinte forma:

- A maioria, 54%, considerou o Percurso 2 (pela Avenida Santa Joana) o melhor percurso;
- Cerca de 35%, considerou o Percurso 1 (pela Avenida Dr. Lourenço Peixinho) o mais vantajoso;
- Apenas 11% considerou o Percurso 3 (pelo Centro de Congressos), percurso escolhido pela autarquia, como o melhor percurso para estabelecer a ligação entre a Estação e a Universidade de Aveiro.

Posto isto, é primordial analisar cada um dos percursos detalhadamente por forma a se obter dados que permitam determinar aquele que é efetivamente o melhor percurso para ser estabelecido.

3.3 Definição dos percursos monitorizados na cidade do Porto

No que diz respeito à cidade do Porto, a subárea escolhida para implementação da plataforma de monitorização experimental de desempenho do ciclista foi o percurso entre a Avenida dos Aliados, também conhecida como Praça da Liberdade, e os Jardins do Palácio de Cristal. A escolha recaiu sobre estes locais essencialmente devido a duas questões fundamentais. Por um lado, o facto da Estação de São Bento se localizar nas imediações da Avenida dos Aliados, despoletando um elevado fluxo de pessoas neste local (tanto por questões laborais, como por questões meramente de cariz turístico). Por outro lado, a escolha dos Jardins do Palácio de Cristal como segundo local de escolha prendeu-se essencialmente com questões de interesse paisagístico, sendo que a distância entre estes dois locais escolhidos também se aproxima da distância correspondente aos trajetos realizados em Aveiro e deste modo permite tirar algumas conclusões não só acerca da diferença do tempo despendido numa mesma distância em cidades que apresentam níveis de tráfego largamente díspares bem como um conjunto de informações acerca da segurança do ciclista e existência ou inexistência de locais para a prática do ciclismo, tendo como elo de comparação a cidade de Aveiro.

O percurso 4 (ver Figura 21) tem com ponto de partida a Avenida dos Aliados, em direção à Rua Guilherme Costa Carvalho, situada a norte desta. De seguida sofrerá um desvio para Sudeste, passando dessa forma pela Rua de Rodrigues Sampaio e por conseguinte pela Praça de Dom João I. Depois seguirá pela Rua do Dr. Magalhães Lemos e pela Rua de Elísio de Melo até sofrer um desvio para Sul, continuando o trajeto pela Praça Guilherme Gomes Fernandes e Praça Gomes Teixeira onde se encontra localizada a Universidade do Porto. Após passar a Universidade do Porto, o trajeto seguirá para Norte com destino ao Jardim do Carregal pela Rua Prof. Vicente José de

Carvalho. Por fim, encontrará a Rua D. Manuel II pela qual seguirá sensivelmente 1 km até culminar no ponto de destino que é o Jardim do Palácio de Cristal.

O percurso 5 tem como ponto de partida, tal como o anterior, a agência da Caixa Geral de Depósitos localizada na Avenida dos Aliados no Porto. Com efeito, o percurso partirá do local mencionado anteriormente e prosseguirá para Norte até ao Hotel Paulista onde sofrerá um desvio para Sudeste pela Rua de Rodrigues Sampaio até à Rua de Sá de Bandeira. Chegado a este ponto, o trajeto continuará para Sul por esta rua onde se encontra localizado o Teatro Sá da Bandeira. Seguidamente, este sofrerá um desvio para Oeste pela Praça da Liberdade onde se encontra a Estátua do Arduo e Monumento a Dom Pedro IV. Após a passagem pelos monumentos anteriormente mencionados, o percurso prosseguirá pela Rua Campo dos Mártires da Pátria onde se encontra o Jardim da Cordoaria. Aqui, o percurso avançará para Norte por volta de 200 m onde sofrerá um desvio para Oeste pela Rua da Restauração onde se manterá por aproximadamente 300 m, passando pelo Hospital de Santo António. Após percorrer esta distância, este progredirá para Norte pela Rua Jorge de Viterbo Ferreira onde está localizado o Instituto de Ciência Biomédicas Abel-Salazar. Por fim, ao chegar a este Instituto, o percurso prosseguirá para Oeste pela Rua de D. Manuel II cerca de 100 m onde, encontrará no final desta distância, o local de acesso ao Jardim do Palácio de Cristal, que é o ponto de destino.

O percurso 6 tem como ponto de partida a agência da Caixa Geral de Depósitos situada na Avenida dos Aliados na cidade do Porto. Com início neste local, o percurso continuará no sentido Norte pela Avenida dos Aliados passando pela Praça do Município onde se encontra o Monumento a Garrett e a Câmara Municipal do Porto. De seguida, permanecendo no mesmo sentido, este passará pela Rua da Trindade onde se localiza a Igreja da Santíssima Trindade e de seguida passará pela Rua de Camões cerca de 300 m até ser alvo de um desvio para Oeste de aproximadamente 200 m pela Rua de Gonçalo Cristóvão. Após esta distância percorrida, o trajeto segue para Sul pela Rua dos Mártires da Liberdade sendo alvo de um desvio para Oeste para a Rua dos Bragas onde se encontra localizada a Faculdade de Direito da Universidade do Porto. Em seguida, o percurso progredirá pela Rua da Torrinha onde se encontra o Instituto de Ciência Empresariais e do Turismo do Porto por cerca de sensivelmente 200 m. De seguida, este sofre um desvio para Sul pela Rua da Boa Hora e posteriormente pela Rua da Maternidade onde se encontram o Palacete Pinto Leite, a Maternidade Júlio Dinis e o Jardim do Largo da Maternidade Júlio Dinis. Por fim, avançará, no mesmo sentido, pela Rua da Boa Nova por aproximadamente 150 m, onde se encontra no final desta distância o acesso ao Jardim do Palácio de Cristal, que é o ponto de destino pretendido.

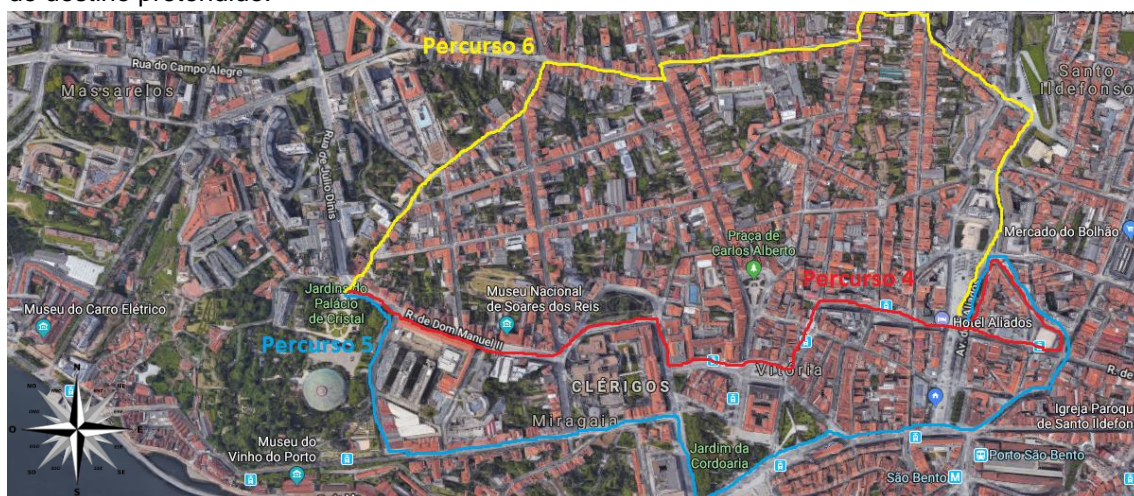


Figura 21 - Subárea da cidade do Porto para implementação da plataforma (Fonte fotografia aérea: Google Maps).

3.4 Caracterização dos percursos efetuados

No que diz respeito aos percursos efetuados em ambas as cidades em estudo é de referir que todos os percursos referidos anteriormente foram divididos em duas partes, isto é, para cada percurso referenciado nas figuras 20 e 21 haverá uma alínea a) correspondente ao trajeto com início na Universidade de Aveiro e término na Estação de Comboios (para a cidade de Aveiro) e ao trajeto com início na Avenida dos Aliados e término nos Jardins do Palácio de Cristal (para a cidade do Porto) e haverá uma alínea b) que corresponderá ao trajeto inverso.

Assim, apresenta-se em seguida, na Tabela 9, um resumo com a caracterização de cada percurso efetuado, na qual é possível observar o tipo de percurso, a distância associada a cada trajeto, a inclinação média positiva e a inclinação média negativa, sendo que estes últimos se encontram representados em percentagem.

Tabela 9 - Caracterização dos percursos efetuados.

Percurso	Tipo de percurso	Distância (km)	Inclinação média positiva (%)	Inclinação média negativa (%)
P1a	Misto	2,82	4,7	-5,2
P1b	Misto	2,79	5,0	-5,4
P2a	Misto	2,20	6,6	-6,4
P2b	Misto	2,24	5,5	-5,9
P3a	Misto	2,83	6,0	-5,2
P3b	Misto	2,81	5,6	-5,0
P4a	Inclinado	2,03	27,2	-34,2
P4b	Inclinado	1,51	16,1	-22,0
P5a	Inclinado	2,21	26,8	-24,9
P5b	Inclinado	1,67	17,8	-24,3
P6a	Inclinado	2,25	26,8	-28,5
P6b	Inclinado	1,89	23,9	-32,9

No que respeita aos percursos monitorizados, estes foram percorridos por um total de 3 pessoas, sendo que na cidade de Aveiro, os trajetos foram realizados por um ciclista do sexo masculino e por um ciclista do sexo feminino com idades de 23 e 20 anos, respetivamente. Nos percursos na cidade do Porto, foram 2 os ciclistas que realizaram os trajetos e ambos com 23 anos de idade.

Os diversos percursos em análise foram alvo de monitorização variada, devido essencialmente à facilidade/dificuldade em efetuar as medições em Aveiro e no Porto, respetivamente. Deste modo, foram realizadas 9 monitorizações para cada percurso de Aveiro e 3 monitorizações para cada percurso da cidade do Porto. A distância total percorrida nas cidades de Aveiro e Porto foi de 176,2 km e o tempo associado a essa monitorização foi de cerca de 13,4 horas, tendo sido percorridos 141,5 km na cidade de Aveiro num período de 8,7 horas e os restantes 34,7 km foram percorridos na cidade do Porto num intervalo de tempo de aproximadamente 4,7 horas.

De modo a permitir um melhor entendimento ao leitor do número de monitorizações realizadas para cada percurso em estudo, apresenta-se, na Tabela 10, o número total de viagens associadas a cada percurso em análise bem como a distância total percorrida para cada percurso e o tempo total associado a essa distância efetuada, evidenciando-se uma extensa recolha de dados na cidade de Aveiro devido à maior facilidade em adquirir os dados, contrastando com uma análise mais superficial na cidade do Porto devido à dificuldade de aquisição de dados nesta cidade.

Tabela 10 - Distribuição das monitorizações pelos diferentes percursos.

Percurso	P1a	P1b	P2a	P2b	P3a	P3b	P4a	P4b	P5a	P5b	P6a	P6b
Número de viagens	9	9	9	9	9	9	3	3	3	3	3	3
Distância total percorrida (km)	25,58	25,17	19,89	20,24	25,49	25,15	6,09	4,52	6,62	5,01	6,76	5,67
Tempo total associado (min)	96,13	90,45	70,02	73,4	95,92	96,80	50,20	33,38	52,52	35,18	62,07	47,52

3.5 Equipamento para monitorização experimental de desempenho

Posteriormente à escolha das subáreas para implementação da plataforma, escolha do veículo e caracterização dos percursos a efetuar, seguiu-se a aferição empírica dos vários parâmetros de ciclabilidade associados aos segmentos da rede a estudar, tendo-se recorrido a uma bicicleta equipada com dispositivo de *GNSS data logger*, câmara de vídeo e um equipamento denominado *Vital Jacket*.

O desenvolvimento deste estudo teve como ponto fundamental a seleção do veículo a utilizar de forma a ser exequível a monitorização dos diversos percursos efetuados nas duas cidades em estudo. Para a realização das monitorizações foi utilizada uma bicicleta do tipo convencional da marca Órbita, que apresentava um quadro em alumínio, um sistema de mudanças mecânicas 7x3 e uma massa de 15 kg (Figura 22).



Figura 22 - Bicicleta convencional utilizada para a realização dos percursos em ambas as cidades.

O equipamento *GNSS data logger* é um dispositivo de armazenamento de coordenadas geográficas de alta precisão, pelo que será utilizado para fazer levantamentos técnicos de coordenadas geográficas dos percursos escolhidos para as cidades de Aveiro e Porto. Este dispositivo permite também a medição de distância e de velocidade, fatores que serão relevantes aquando da escolha dos percursos a realizar por parte dos utilizadores da bicicleta. Em resumo, o *GNSS (Qstarz BT-Q1000X GNSS Travel Recorder)*, indica o perfil dinâmico da viagem, isto é, indica as coordenadas de latitude e longitude, a altitude em metros e a velocidade em km/h. Com o intuito de minimizar

erros na leitura da altitude, este equipamento será fixado num suporte que se encontra embutido no guiador da bicicleta, sendo este um processo análogo ao fixar um aparelho digital para contar os quilómetros percorridos pelo ciclista no guiador (Figura 23).



Figura 23 - GNSS inserido na bicicleta que indica o perfil dinâmico da viagem.

Com efeito, a utilização do *GNSS data logger* tem especial relevância na aquisição de dados uma vez que efetua o registo segundo a segundo de vários parâmetros de especial relevância, de entre os quais se podem destacar:

- Altitude;
- Latitude;
- Longitude;
- Velocidade instantânea.

A leitura da velocidade fornecida pelo equipamento *GNSS* utilizado durante as monitorizações foi usada para dois fins distintos, por um lado serviu para se calcular a distância percorrida durante a viagem e por outro lado foi útil para se identificarem os pontos extremos de velocidade, isto é, pontos onde a velocidade é diminuta corresponderão como esperado a locais onde a densidade de tráfego é elevada, a zonas de inclinação acentuada e a sinais de trânsito e por oposição, os pontos em que se verifique valores elevados de velocidade corresponderão a locais que apresentem descidas significativas e baixa densidade de tráfego. A leitura da velocidade através do equipamento *GNSS* permitiu ainda determinar a aceleração e a inclinação da estrada. A inclinação da estrada foi conseguida através do quociente entre a diferença de altitude entre dois pontos consecutivos e a diferença de distância entre esses mesmos dois pontos. De realçar que devido ao erro associado às medições existiu necessidade de se efetuar algumas correções a valores de inclinação encontrados, usualmente designados por “outliers”, tendo-se considerado valores incorretos aqueles que tivessem ordens de grandeza superiores ou valores 300% superiores aos restantes, uma vez que caso esta correção não se realizasse os resultados esperados diferiam um pouco do esperado.

Este registo contínuo de dados possibilita, numa fase posterior em que se proceda à sua análise, um cruzamento entre as velocidades registadas pelo utilizador da bicicleta que efetuará os trajetos referidos anteriormente e os locais em que essas velocidades são atingidas através das coordenadas geográficas. Deste modo, é efetivamente acessível identificar subidas nos percursos, onde como seria de esperar se verificam velocidades diminutas, bem como descidas onde se registam os maiores valores de velocidade instantânea. Também pontos de interesse como semáforos e locais de grande congestionamento serão facilmente identificados uma vez que a velocidade instantânea registada para estes locais será nula ou aproximadamente nula, respetivamente.

A incorporação de uma câmara de vídeo no capacete do ciclista aquando da realização dos percursos em ambas as cidades com vista à aferição de múltiplos dados assume elevada relevância, devido essencialmente à possibilidade de registar sob a forma de vídeo as condições reais de tráfego com as quais os ciclistas se têm de deparar diariamente para diferentes alturas do dia. Foram escolhidos dois períodos de ponta (de manhã, 08:30H-09:20H e de tarde, 18:00H-18:50H) e um período de vazio (11:00H-11:50H), tendo-se filmado para ambas as situações, o tráfego existente durante os períodos considerados.

Assim, apesar de o principal intuito da utilização da câmara de vídeo se prender com o registo dos níveis de tráfego existentes para diferentes horas do dia, a sua utilização permite também sustentar os dados fornecidos pelo dispositivo *GNSS data logger*, uma vez que para os instantes em que se verifique velocidades diminutas nos dados fornecidos pelo dispositivo *GNSS data logger*, o vídeo para esses mesmos instantes irá mostrar situações de maior congestionamento, semáforos ou subidas e para instantes onde se registem maiores valores de velocidade pelo equipamento *GNSS data logger*, corresponderão a subidas, que poderão ser observadas no vídeo registado pela câmara de vídeo. Apresenta-se, em seguida, na Figura 24, uma fotografia que ilustra o modo como a câmara de vídeo se encontra inserida no capacete do ciclista por forma a permitir a monitorização visual dos percursos em estudo.



Figura 24 - Ilustração da colocação da câmara de vídeo no capacete do ciclista.

Importa referir que os equipamentos câmara de vídeo e dispositivo *GNSS* foram sincronizados, de forma a que os dados tenham correspondência direta, como pretendido. Caso contrário, poderíamos obter situações em que para determinado segundo no *GNSS data logger* obtivéssemos velocidade nula e no vídeo registado pela câmara de vídeo para esse mesmo instante o utilizador estivesse em movimento, isto devido a um desfasamento existente entre o instante em que começa a contar o *GNSS data logger* e o instante em que a câmara de vídeo começou a gravar.

Por fim, o utilizador da bicicleta que irá efetuar os percursos visando a aferição dos vários parâmetros de ciclabilidade pretendidos, usará um equipamento denominado “*Vital Jacket*” com 3 elétrodo (um vermelho colocado na parte abdominal direita do ciclista, um amarelo colocado na parte abdominal esquerda do ciclista e um da cor cinzenta colocado na parte central do abdómen do ciclista) que foi desenvolvido por uma equipa do Instituto de Engenharia Eletrónica e Telemática de Aveiro (IEETA) da Universidade de Aveiro (UA) em parceria com o Centro Tecnológico das Indústrias Têxteis e do Vestuário de Portugal (Citeve) e a empresa Petrutex (Cunha et al, 2010). Este dispositivo permite monitorizar continuamente o ritmo cardíaco e realizar uma eletrocardiograma (ECG) ao seu utilizador. Este equipamento permite fornecer dados acerca do batimento cardíaco e por conseguinte do nível de esforço que o ciclista terá de fazer em determinados troços dos percursos escolhidos em ambas as cidades. Para um melhor entendimento das dimensões reduzidas deste equipamento, sugere-se a visualização da Figura 25.



Figura 25 - Equipamento Vital Jacket para aferição dos batimentos cardíacos do ciclista.

Este equipamento faz o registo contínuo do batimento cardíaco segundo a segundo e encontra-se emparelhado via Bluetooth com o Smartphone do utilizador. O *smartphone* monitoriza os dados através da aplicação Android “VR Unit”. No início de cada percurso efetuado, o utilizador faz um clique em “START” e no fim um clique em “STOP”, seguido de um clique em “Upload”, de forma a que os dados contidos no telemóvel possam ser carregados para uma pasta *Dropbox* com o intuito de mais tarde serem analisados e tratados devidamente.

Com o intuito de fornecer um melhor entendimento acerca dos botões “START” e “STOP” contidos na aplicação “VR Unit” que permitem o início e término do registo de dados, respetivamente, apresenta-se na Figura 26, o menu principal desta aplicação onde se efetuam o início e o fim do registo de dados de batimento cardíaco do ciclista. De notar que este menu disponibiliza uma ferramenta de *GPS*, porém, esta ferramenta só serviu para verificar que os dados eram compatíveis com o *GNSS data logger* utilizado, dado este ser mais preciso e permitir uma maior abrangência de dados de saída.

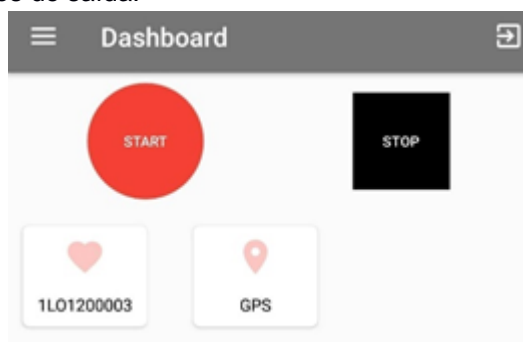


Figura 26 - Menu Principal da aplicação de monitorização do Vital Jacket.

Dessa forma, servirá também como fator de eliminação ou de motivação quando se registre uma elevada taxa de batimentos cardíacos, caso se pretenda efetuar o percurso a uma taxa mais moderada ou a um ritmo mais acelerado, respetivamente. Sincronizando o instante inicial deste dispositivo com o instante inicial do equipamento *GNSS data logger* é possível saber através das coordenadas geográficas fornecidas por este, em que locais se verificam diminutos, medianos ou elevados batimentos cardíacos, que corresponderão respetivamente a situações de paragens pela existência de semáforos e ou congestionamento do trânsito no qual o utilizador apresentará um esforço físico muito baixo, situações em que o utilizador esteja a executar de forma moderada o seu trajeto e por fim, para casos onde se verifique uma elevada taxa de batimentos cardíacos corresponderão maioritariamente a locais que apresentem alguma inclinação e por seguinte exijam um maior esforço físico que se traduzirá no aumento do batimento cardíaco.

Todos os dados recolhidos foram registados a cada segundo, tendo sido posteriormente realizada uma sincronização manual entre os vários equipamentos por forma a efetuar uma leitura precisa dos resultados obtidos.

3.6 Potência específica nas bicicletas (BSP)

A análise da potência específica nas bicicletas era um dos pontos chave da dissertação, fornecendo um valor de potência desenvolvida pelo conjunto ciclista + bicicleta. A abordagem feita encontra-se de acordo com outros estudos já realizados, aplicados a veículos motorizados, e que serviram de referência ao desenvolvimento deste trabalho (Frey et al, 2003; NCSU, 2002; Koupal et al, 2002; Palacios, 1999).

A equação que permite o cálculo da potência específica na bicicleta é baseada no conceito “*Bicycle Specific Power*” (BSP), é descrita em seguida:

Equação 1 - Equação do modo BSP (Mendes, Duarte & Baptista 2015).

$$BSP = v \times [a \times (1 + \varepsilon_i) + g \times \sin(\theta) + g \times C_R] + \frac{1}{2} \times \rho_a \times C_D \times \frac{A}{m} \times v^3$$

Onde:

- v – Velocidade da bicicleta (m/s);
- a – Aceleração da bicicleta (m/s²);
- ε_i – Fator de massa, que inclui a massa de translação equivalente dos componentes em rotação (rodas, eixos e engrenagens) no sistema de tração;
- g – Aceleração da gravidade (9,81 m/s²);
- θ – Inclinação da estrada (radianos);
- C_R – Coeficiente de rolamento;
- C_D – Coeficiente de resistência aerodinâmica;
- ρ_a – Densidade do ar ambiente (1,2 kg/m³);
- A – Área frontal do conjunto ciclista + bicicleta;
- m – Massa do conjunto ciclista + bicicleta.

O fator de massa ε_i é representativo da massa de translação equivalente dos compostos em movimento (rotação), sendo estes as rodas, os eixos e as engrenagens no sistema de tração. Para a elaboração da dissertação foi adotado um valor de fator de massa de 0,01 (Mendes, Duarte & Baptista 2015), ou seja, 1% da massa total da bicicleta. De notar que o valor de m da equação representa a massa do ciclista somada da massa da bicicleta, o que vai variar entre 54 e 70 kg uma vez que, dos três ciclistas utilizados, dois deles possuem uma massa de 70 kg e o outro uma massa de 54 kg.

Tendo por objetivo a definição da metodologia BSP, tornou-se tarefa primordial a aferição dos vários valores dos coeficientes da Equação 1 para diferentes bicicletas, estando estes presentes na Tabela 11. Assim, com base nos valores encontrados, passou-se à definição dos valores para os coeficientes que melhor caracterizem a bicicleta utilizada para efetuar as monitorizações em ambas as cidades.

Considerando que a grande parte das bicicletas utilizadas no quotidiano são bicicletas de passeio, foi escolhida uma bicicleta pertencente a esta classe para a realização das monitorizações com o objetivo de obter uma melhor aproximação das condições reais dos ciclistas que efetuam diariamente os percursos analisados nesta dissertação. Ainda assim, obtiveram-se os valores dos coeficientes para mais três tipos de classes de bicicletas, sendo elas as bicicletas desportivas, as bicicletas de competição em estrada e as bicicletas de montanha, essencialmente com o objetivo de mostrar as variações significativas que existem destas classes relativamente à classe escolhida, que são as bicicletas de passeio. Os valores dos coeficientes para as diferentes classes de bicicletas foram retirados da referência (Wilson, 2004) e encontram-se na tabela que se segue.

Tabela 11 - Valores dos coeficientes do modo BSP para diferentes classes de bicicletas (Mendes, Duarte & Baptista 2015).

Coeficientes	Bicicleta de passeio	Bicicleta desportiva	Bicicleta de competição em estrada	Bicicleta de montanha
$A \text{ (m}^2\text{)}$	0,50	0,40	0,33	0,57
C_D	1,20	1,00	0,13	0,70
C_R	0,008	0,005	0,003	0,006
m bicicleta (kg)	15	11	9	13

Após a definição dos coeficientes para diferentes tipos de bicicletas, apresenta-se em seguida, na Tabela 12, os valores dos coeficientes utilizados para efetuar os cálculos do modo BSP.

Tabela 12 - Valores usados para cada variável da equação do modo BSP (Mendes, Duarte & Baptista 2015).

Variáveis	Valores utilizados	Variáveis	Valores utilizados
ϵ_i	0,01	$A \text{ (m}^2\text{)}$	0,50
g (m/s²)	9,81	m bicicleta (kg)	18
C_R	0,008	m pessoa (kg)	70
C_D	1,2	$\rho_a \text{ (kg/m}^3\text{)}$	1,2

Através da substituição das variáveis que formam a Equação 1 pelos valores contidos na Tabela 12 foi possível obter, a Equação 2 representando a equação genérica do BSP baseada em coeficientes típicos.

Equação 2 - Equação generalista do modo BSP para os ciclistas com massa de 70 kg
(adaptada de Mendes, Duarte & Baptista 2015).

$$\text{BSP} = v \times [1,01 \times a + 9,81 \times \sin(\theta) + 0,078] + 0,0041 \times v^3$$

De modo análogo, para o caso do ciclista com uma massa de 54 kg, substituindo as variáveis apresentadas na Equação 1 pelos valores apresentados na Tabela 12 à exceção da massa da pessoa que neste caso passa de 70 kg para 54 kg, perfazendo deste modo um valor de massa total, variável m da equação, de 72 kg, contrastando com o valor da variável m para o caso anterior que seria de 88 kg, a equação genérica que define o modo BSP baseada em coeficientes típicos para este caso é dada por:

Equação 3 - Equação generalista do modo BSP para o ciclista com massa de 54 kg
(adaptada de Mendes, Duarte & Baptista 2015).

$$\text{BSP} = v \times [1,01 \times a + 9,81 \times \sin(\theta) + 0,078] + 0,005 \times v^3$$

Tendo as medições recolhidas durante as monitorizações em ambas as cidades e aplicando a metodologia desenvolvida foi possível obter o valor de BSP para cada segundo de todas as viagens realizadas.

Assim, o passo seguinte consistiu em proceder ao agrupamento em modos dos diferentes pontos das viagens realizadas pelos ciclistas. Para efetuar esse agrupamento em diversos modos BSP, recorreu-se à utilização de três regras que se enumeram em seguida (Mendes, 2014).

- 1) agrupar os valores de BSP que apresentam valores próximos (em W/kg);
- 2) é fulcral que todos os modos BSP apresentem uma representação superior a 1% relativamente ao tempo total das viagens, o que simboliza que deve ser relevância a todos os modos BSP selecionados;

3) é imperativo existir um número de modos suficiente que permita diluir a percentagem de tempo nos diversos modos de BSP selecionados, evitando deste modo a sua concentração.

Porém, como seria de esperar, ter o conhecimento de qual a potência que um humano é capaz de produzir por unidade de massa é uma tarefa árdua e morosa. Um estudo sobre design de bicicleta (Parkin et al, 2010) realizado a 16 ciclistas com experiência na área conclui que nenhuma das variáveis pessoais como idade, experiência em ciclismo, IMC (índice de massa corporal do ser humano), o género da bicicleta utilizada, a frequência com que utiliza a bicicleta, o tipo de intervenções a nível de manutenção que a bicicleta já sofreu, a quantidade e forma da bagagem, tiveram influência na velocidade ou acelerações para variadas situações de orografia. Tendo por base o estudo referido anteriormente, é possível verificar que o valor de potência por unidade de massa, valor de BSP, assume-se como uma variável que é independente das características humanas. Com recurso a esse estudo é também possível concluir que, em superfícies planas, a velocidade média que um ciclista consegue alcançar é de 6,01 m/s, sendo que esta decresce em cerca de 0,40 m/s para o caso de uma subida que apresente uma inclinação de 1% e aumenta em 0,24 m/s para o caso de uma descida com 1% de inclinação negativa.

Deste modo, de acordo com (Parkin et al, 2010), na presença de uma subida, o ciclista poderá desenvolver uma potência de cerca de 200 W, podendo esta potência chegar até 260 W em casos de extremo esforço físico por parte deste.

Em conformidade com (Wilson, 2004), os valores típicos de potência para uma pessoa que não seja atleta de ciclismo é de aproximadamente 75 W. Importa ainda referir que este valor poderá chegar até valores cerca de 3 vezes superiores, isto é, algures entre 200-250W para uma pessoa saudável e que apresente boa forma física do sexo masculino. Por comparação, numa corrida de ciclismo com uma duração compreendida entre 20 minutos e 1 hora, os atletas são capazes de desenvolver uma potência algures entre os 350-400W.

Na Tabela 13 apresentam-se os 11 modos de BSP selecionados, estando estes espaçados por intervalos de 1 W/kg de -4 W/kg a 4 W/kg, sendo que 2 desses 11 modos escolhidos abrangem as condições extremas possíveis de obter, sendo eles o modo < -4 W/kg e o modo > 4 W/kg.

Tabela 13 - Agregação do conceito BSP em 11 modos distintos (Mendes, Duarte & Baptista, 2015).

Modo BSP	Definição	Modo BSP	Definição
<-4	BSP < -4	1	$0 < \text{BSP} \leq 1$
-4	$-4 \leq \text{BSP} < -3$	2	$1 < \text{BSP} \leq 2$
-3	$-3 \leq \text{BSP} < -2$	3	$2 < \text{BSP} \leq 3$
-2	$-2 \leq \text{BSP} < -1$	4	$3 < \text{BSP} \leq 4$
-1	$-1 \leq \text{BSP} < 0$	>4	BSP > 4
0	BSP = 0		

Os percursos monitorizados foram escolhidos de forma a incluírem vários tipos de condições de condução, nomeadamente descidas, subidas e vias planas, o que, por conseguinte, permitiu o estudo de uma grande diversidade de potência requeridas. Importa referir que a agregação dos diferentes modos de BSP é completamente independente tanto das características da viagem como das características da bicicleta que é utilizada. Com efeito, este agrupamento em modos permite a comparação entre diferentes tipos de bicicletas, sem ter de aludir às condições de percurso e condução.

4. Resultados

Nesta secção encontram-se os resultados do estudo desenvolvido em ambas as cidades. De sublinhar que são apresentados diversos gráficos onde se encontram representadas barras de erros, de forma análoga à metodologia aplicada para veículos (Palacios, 1999), (Koupal et al, 2002). Com efeito, considera-se relevante referir que os resultados expostos neste capítulo contêm barras de erro com um intervalo de confiança (IC) considerado de 95%, estando em concordância com as respetivas distribuições apresentadas por (Palacios, 1999), (Koupal et al, 2002).

4.1 Caracterização dinâmica do veículo utilizado nas monitorizações

Neste subcapítulo apresenta-se a análise exaustiva dos percursos nas cidades de Aveiro e Porto, nas quais se procedeu a uma recolha de dados de 8,7 e 4,7 horas, respetivamente, perfazendo deste modo um total de aproximadamente 13,4 horas, o que corresponde a 48215 segundos de recolha de dados através do equipamento GNSS, câmara de vídeo e equipamento *Vital Jacket*.

4.1.1 Resultados para a potência específica nas bicicletas (BSP) em Aveiro para o ciclista 1

A análise da potência específica nas bicicletas (BSP) teve início com uma análise estatística representativa da viagem de cada um dos percursos. Na Tabela 14 encontram-se resumidos os resultados estatísticos correspondentes a cada percurso realizado para a cidade de Aveiro pelo ciclista 1, sendo que a recolha de dados realizada por este ciclista teve a duração de 21 324 segundos, o que perfaz aproximadamente 5,9 horas. As variáveis contidas na Tabela 14 foram adquiridas através do equipamento GNSS, sendo elas a extensão do trajeto a efetuar, o intervalo de tempo requerido para realizar a travessia, os valores das inclinações médias negativas e positivas das travessias e a velocidade média e máxima obtidas para cada percurso realizado.

Tabela 14 - Estatística de viagem para os diversos percursos realizados na cidade de Aveiro.

Percurso	P1a	P1b	P2a	P2b	P3a	P3b
Veículo	BC	BC	BC	BC	BC	BC
Número de viagens	6	6	6	6	6	6
Distância do percurso (km)	2,77	2,78	2,23	2,26	2,83	2,77
Tempo para a realização do percurso (segundos)	668,7	608,7	485,3	496,2	640,7	654,5
Inclinação média positiva (%)	4,6	5,0	6,9	4,4	6,5	5,4
Inclinação média negativa (%)	-5,0	-5,2	-6,0	-5,5	-5,7	-4,6
Velocidade média (km/h)	15,59	16,72	16,56	16,55	15,96	15,31
Velocidade máxima (km/h)	26,98	25,01	28,60	29,03	34,17	26,50

Importa referir que cada percurso analisado em Aveiro foi alvo de 9 monitorizações, sendo que a Tabela 14 apresenta a média dos parâmetros recolhidos nesse número de testes.

Pela análise da Tabela 14 é possível observar que os percursos mais eficientes em termos de tempo de viagem necessário para a sua realização são os percursos P2a e P2b que correspondem à viagem entre a Universidade de Aveiro e a Estação de Comboios pela Avenida Santa Joana (Sé) e ao seu percurso inverso, respetivamente.

Assim, para os percursos com início na Universidade de Aveiro e fim na Estação de comboios, foi possível verificar que o percurso P2a, é cerca de 38% mais rápido que o percurso P1a e 32% mais célere que o percurso P3a. Seguindo a mesma linha de análise, para os percursos com início

na Estação de Comboios e fim na Universidade de Aveiro, verificou-se que o percurso P2b é 23% mais célere que o percurso P1b e aproximadamente 32% mais rápido que o percurso P3b.

É possível retirar ainda que a distância do percurso P2a é cerca de 24% inferior à extensão do percurso P1a e cerca de 27% inferior à do percurso P3a.

No que diz respeito à inclinação média positiva o percurso P2a apresenta um valor de cerca de 50% superior ao do percurso P1a e cerca de 6% superior ao do percurso P3a. Para os percursos em sentido inverso, verificou-se que o percurso P2b apresentou um valor de inclinação média positiva cerca de 14% inferior ao obtido para o percurso P1b e aproximadamente 23% inferior ao obtido para o percurso P3b.

No que se refere à inclinação média negativa, o percurso P2a apresenta um valor cerca de 20% superior ao obtido para o percurso P1a e 5,26% superior ao percurso P3a. O percurso P2b apresenta, tal como o seu percurso inverso, valores superiores de inclinação média negativa, apresentando um valor cerca de 6% superior ao percurso P1b e aproximadamente 20% superior ao obtido para o percurso P3b.

Quanto ao valor da velocidade média, o percurso P2a é aquele que apresenta um valor mais elevado, 16,56 km/h, sendo este valor cerca de 6% superior ao encontrado para o percurso P1a e cerca de 4% superior ao valor obtido para o percurso P3a. No que respeita ao percurso P2b, o valor da velocidade média é muito idêntico ao do percurso P1b, apresentando um valor de 16,55 km/h e 16,72 km/h, respetivamente. Por outro lado, comparando os percursos P2b e P3b, retira-se que a velocidade média no percurso P2b é cerca de 8% superior à obtida para o percurso P3b.

No que respeita aos valores de velocidade máxima encontrados para os diferentes percursos realizados, destaca-se o valor de 34,17 km/h registado para o percurso P3a. Com efeito, esse valor é cerca de 20% superior ao valor encontrado para o percurso P2a, e aproximadamente 27% superior face ao registado no percurso P1a. No sentido inverso, verifica-se que é no percurso P2b onde se regista um valor de velocidade máxima maior, 29,03 km/h, sendo este valor 16% superior ao obtido no percurso P1b e 9,5% superior ao registado no percurso P3b.

Na Figura 27 encontra-se representada a forma como varia a velocidade média registada pelo ciclista em função da inclinação da estrada. Deste modo, constata-se que a velocidade média é mais elevada para valores elevados de inclinações negativas e que a velocidade média vai diminuindo à medida que se aumenta o valor da inclinação, uma vez que este aumento requer um maior esforço físico por parte do ciclista.

É ainda possível verificar que para valores de inclinação negativa relativamente diminutos, isto é, próximos de 0%, situação em que a via é considerada aproximadamente plana, a velocidade do ciclista é um pouco superior à registada para valores de inclinações negativas na ordem dos -2%. Tal facto sucede devido essencialmente a acelerações que o ciclista desencadeia em situações de via plana que não repete em situações de descida (inclinação negativa), uma vez que neste caso, o ciclista prefere reduzir o esforço físico e aproveitar a descida para descansar porque apesar de não estar a pedalar, sabe que continuará a mover-se a um ritmo moderado, ao invés de locais sem inclinação, que requerem que este pedale efetivamente de modo a poder deslocar-se.

Influência da inclinação da via na velocidade média

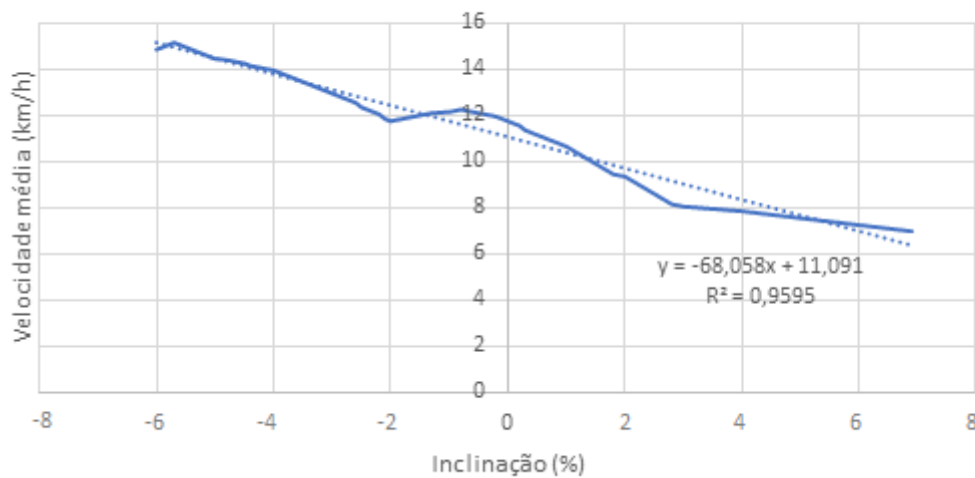


Figura 27 - Variação da velocidade média com a inclinação da estrada na cidade de Aveiro.

Seguidamente, mostra-se na Tabela 15 as velocidades médias obtidas para situações de inclinação negativa, neutra e positiva. Tal como esperado, para situações onde a inclinação é negativa (descidas), a velocidade média registada é a maior observada, sendo esta seguida do caso em que o valor da inclinação é neutro, isto é, locais onde o percurso é plano e por último vem o caso em que a inclinação é positiva, ou seja, em que se verifica a existência de subidas no percurso.

Tabela 15 - Relação entre a velocidade média registada e a inclinação da via na cidade de Aveiro.

Inclinação	Negativa	Neutra	Positiva
Velocidade média (km/h)	12,78	11,92	8,81

Assim, pela análise da Tabela 15 é possível verificar que para situações de inclinação negativa, isto é, de descidas, a velocidade média aí verificada é cerca de 7% superior à obtida em vias planas e cerca de 45% superior à velocidade média registada em subidas (inclinação positiva).

Importa ainda referir que se considerou um intervalo entre -1% e 1% de inclinação, para aferição do valor de velocidade média para vias planas, tendo-se chegado a um valor de 11,92 km/h.

Após a divisão do valor de BSP em modos (Tabela 13), a seguinte etapa baseou-se na distribuição das mais de 5,9 horas de aquisição de dados, que correspondem a cerca de 21324 segundos de informação obtida em condições reais de operação, pelos diferentes modos de BSP, ficando-se deste modo com o conhecimento de qual o período despendido em cada modo em termos percentuais, de acordo com a Figura 28.

Na Figura 28 encontram-se os resultados médios para a percentagem do tempo total despendida em cada modo de BSP, sendo que essa média de ocorrências ficou dividida em duas partes. Por um lado, as colunas a azul representam os resultados médios de ocorrência de cada modo de BSP para os percursos com ponto de partida na Universidade de Aveiro e fim na Estação de Comboios, fazendo parte deste grupo os percursos P1a, P2a e P3a. As colunas a verde do gráfico, correspondem ao sentido inverso, onde se inserem os percursos P1b, P2b e P3b.

Comparando os dados apresentados na Figura 28 é possível concluir que os modos positivos se encontram fortemente representados, perfazendo um total de aproximadamente 71% do tempo total despendido no conjunto dos percursos com início na Universidade de Aveiro e término na Estação de Comboios. Para os percursos em sentido inverso, o valor obtido é também de aproximadamente 71% do tempo total associado à realização das diversas travessias. Pela análise da Figura 28 é também perceptível que os modos 1 e 2 de BSP representam, de forma conjunta,

cerca de 56% do tempo total associado à realização dos percursos. Para os percursos P1b, P2b e P3b, os modos 1 e 2 estão representados em cerca de 55% do tempo total despendido na realização da viagem. Importa também referir que o modo 0 de BSP, que representa situações em que o ciclista se encontra em repouso, apresenta uma representatividade, em termos médios, de aproximadamente 5% para ambos os sentidos dos percursos em análise. É possível observar que para modos de BSP elevados se obtém uma percentagem muito diminuta de tempo associado, nomeadamente para $BSP > 4$ representando cerca de 0,9% do tempo de viagem para os percursos P1a, P2a e P3a e 1% para os percursos P1b, P2b e P3b. Por último, constata-se, para ambos os casos, que cerca de 24% do tempo total despendido na realização dos percursos corresponde a modos negativos de BSP, que são indicativos de situações de travagem ou de desaceleração por parte do ciclista.

Apresenta-se em seguida a Figura 28 com o intuito de promover uma melhor perceção do leitor acerca da distribuição temporal em termos percentuais pelos distintos modos de BSP escolhidos.

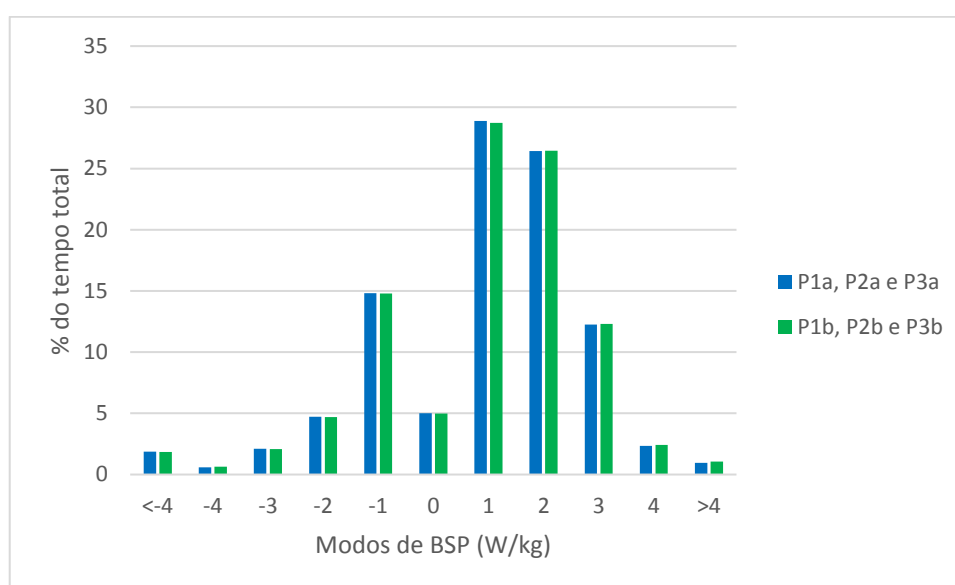


Figura 28 - Distribuição temporal (%) pelos diferentes modos de BSP para a cidade de Aveiro para percursos com início na Universidade de Aveiro e término na Estação de Comboios (P1a, P2a e P3a) e para percursos com início na Estação de Comboios e término na Universidade de Aveiro (P1b, P2b e P3b).

Na figura 29 é exposta a distribuição temporal em termos percentuais pelos modos de BSP distintos, para os percursos que têm como ponto de partida a Universidade de Aveiro e como destino a Estação de Comboios, fazendo parte deste conjunto os percursos P1a, P2a e P3a.

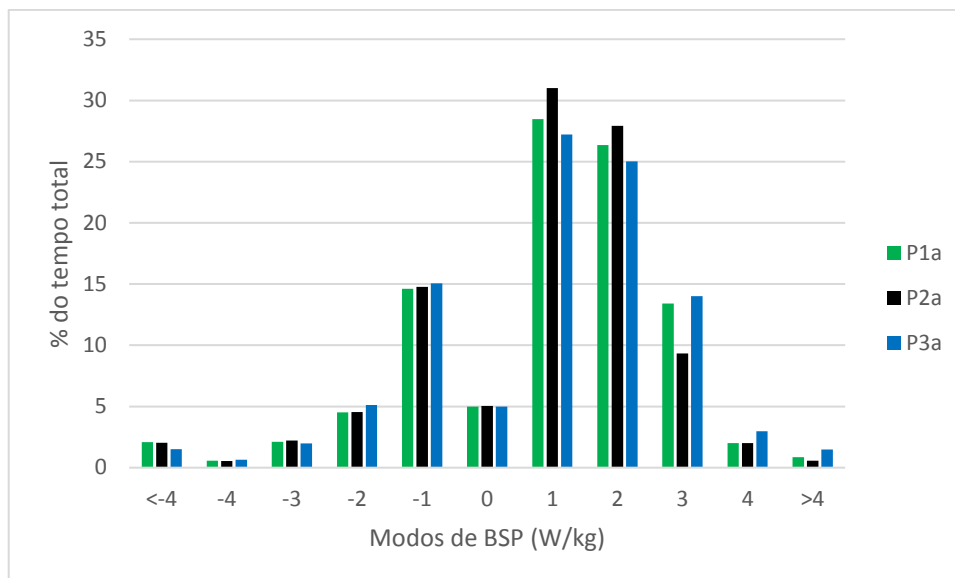


Figura 29 - Distribuição temporal (%) pelos diferentes modos de BSP para os percursos P1a, P2a e P3a.

No que diz respeito à representação dos modos positivos de BSP, verifica-se que o percurso P1a, percurso com início na Universidade de Aveiro e fim na Estação de Comboios, passando pelo Alboi, é aquele que apresenta um maior tempo, em termos percentuais, associado a estes modos, perfazendo um total de 71% do tempo necessário à realização da travessia, sendo este valor menos de 1% superior relativamente aos restantes percursos em estudo. Visto que os modos positivos de BSP representam os modos de BSP onde é efetivamente exigido esforço físico ao ciclista, daqui é possível retirar que é requisitado esforço físico ao ciclista em aproximadamente 71% do tempo total de realização dos diversos percursos em estudo.

Pela análise da Figura 29 é possível observar que a representatividade conjunta dos modos 1 e 2 de BSP é muito significativa, perfazendo mais de metade do tempo necessário à realização dos diversos percursos. Assim, pelo facto destes modos representarem situações de deslocação que requerem baixas potências, inferiores a 160 W, daqui se conclui que o ciclista se desloca maioritariamente em regimes suaves, dado que dos 71% associados à requisição de esforço físico ao ciclista, em mais de 50% é verificado que este se desloca nos modos 1 e 2 de BSP. Verifica-se que o percurso P2a é aquele que apresenta o menor valor associado a modos positivos elevados de BSP, nomeadamente aos modos 3, 4 e >4, onde a representatividade conjunta destes é de 12%, valor que é cerca de 37% inferior ao obtido para o percurso P1a e 55% inferior ao valor obtido para o percurso P3a.

No que concerne ao modo 0 de BSP que corresponde a situações em que o ciclista se encontra parado, é possível constatar que todos os percursos apresentam aproximadamente a mesma representatividade deste modo, cerca de 5%.

No que se refere ao modo de BSP >4, é possível observar que o percurso P1a apresenta um tempo total despendido neste modo, em termos percentuais, de 0,9%, o que é cerca de 52% superior ao obtido para o percurso P2a. Por oposição, o percurso P3a apresenta um valor 1,8 vezes superior ao percurso P1a e 2,7 vezes superior ao percurso P2a. De notar que a representação deste modo se prende em parte, com o facto de este estar associado à requisição de potências elevadas, com valores superiores a 310 W, que são difíceis de atingir por um longo período por ciclistas não profissionais.

Por último, no que concerne à representatividade conjunta dos modos negativos de BSP, pode concluir-se que o percurso P3a é aquele que apresenta um maior valor cerca de 25%, sendo este apenas 0,8% superior ao valor obtido para o percurso P2a e cerca de 1,8% superior ao valor

obtido para o percurso P1a. Dados que estes modos são sinónimos de situações de travagem ou desaceleração,, é possível concluir que o percurso P3a é aquele que apresenta um maior número de situações deste tipo, sendo estas causadas não tanto por situações de travagem mas sim devido a desacelerações em virtude da dificuldade da sua realização.

De seguida, assente na mesma metodologia da Figura 29, apresenta-se a Figura 30 onde se encontra sob a forma de gráfico, a distribuição temporal (%) pelos diferentes modos de BSP para o conjunto de percursos que têm como ponto de partida a Estação de Comboios de Aveiro e como destino a Universidade de Aveiro, sendo parte integrante desta, os percursos P1b, P2b e P3b.

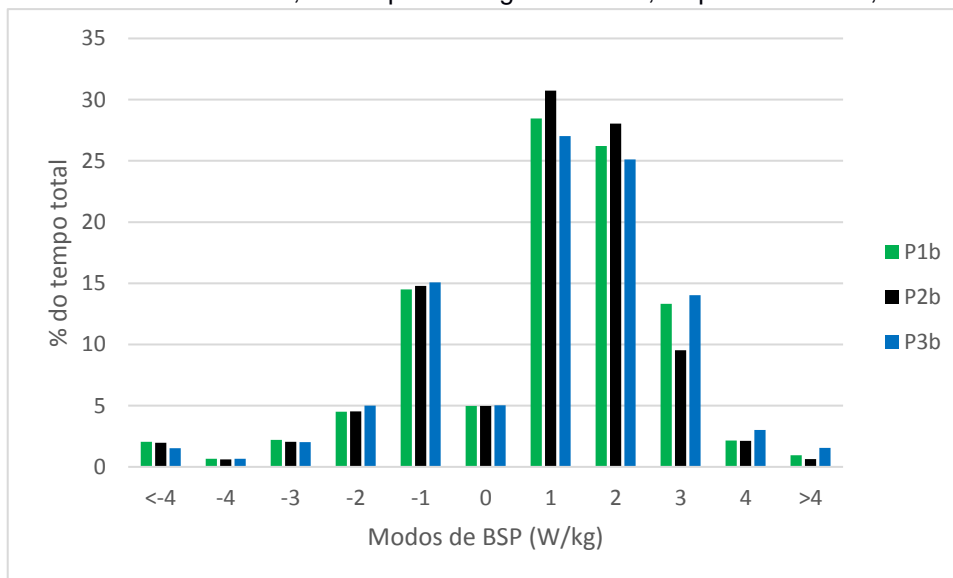


Figura 30 - Distribuição temporal (%) pelos diferentes modos de BSP para os percursos P1b, P2b e P3b.

No que diz respeito à representatividade conjunta dos modos positivos de BSP, é possível verificar pela observação da Figura 30 que o percurso P1b, percurso com início na Estação de Comboios e fim na Universidade de Aveiro, passando pelo Alboi, é aquele que apresenta o maior valor, cerca de 71%, sendo que este valor é menos de 1% superior aos restantes percursos. Dado que os modos positivos de BSP representam os modos de BSP onde é exigido esforço físico ao ciclista, daqui se retira que, em termos médios, é requisitado esforço físico ao ciclista em cerca de 71% do tempo total necessário à realização das diversas travessias em análise.

A representatividade dos modos 1 e 2 de BSP é também um fator de especial interesse uma vez que estes modos em conjunto perfazem mais de metade do tempo associado à realização dos diversos percursos em estudo e, pelo facto destes modos serem representativos da requisição de baixas potências, com valores inferiores a 160 W, daqui é possível retirar que o ciclista efetua a sua deslocação maioritariamente num regime moderado, uma vez que estes apresentam de uma forma geral cerca de 50% do tempo associado à realização das diversas travessias. Para estes percursos em estudo, verifica-se que o percurso P2b é aquele que apresenta uma maior representatividade dos modos 1 e 2 de BSP, no qual é despendido aproximadamente 59% do tempo total associado à realização do percurso, sendo este valor 7,5% superior ao obtido para o percurso P1b, e aproximadamente 13% superior ao valor obtido para o percurso P3b, onde se verifica uma representatividade conjunta destes modos de 52,12%.

No que concerne ao modo 0 de BSP que é representativo de situações em que o ciclista se encontra parado, verifica-se que este corresponde a aproximadamente 5% do tempo total necessário para realizar os diversos percursos em estudo.

No que diz respeito ao modo BSP>4, pela análise da Figura 30 é possível verificar que o percurso P2b é aquele que apresenta uma menor representatividade deste modo, estando este

associado a apenas cerca de 0,5% do tempo total associado à sua realização. Por oposição surge o percurso P3b, que apresenta o maior valor dos 3 percursos em análise, sendo este valor aproximadamente 1,6 vezes superior ao obtido para o percurso P1b, no qual o ciclista se desloca neste modo em aproximadamente 1% e 2,4 vezes superior ao obtido para o percurso P2b.

Por fim, no que se refere à representatividade conjunta dos modos negativos de BSP, verifica-se que o percurso P1b é aquele que apresenta um menor tempo associado a estes, perfazendo um total de cerca de 24% do tempo total associado à sua realização, sendo este valor apenas muito similar ao obtido para o percurso P2b, e apenas 1,6% inferior ao valor obtido para o percurso P3b, onde se verifica que uma percentagem de tempo associada a estes modos de 24,30%. Uma vez que os modos negativos de BSP correspondem a situações de travagem ou desaceleração por parte do ciclista, é possível concluir que o percurso P3b é aquele que apresenta um maior período associado a situações deste tipo.

Importa ainda referir que para a cidade de Aveiro, os percursos foram também realizados por um ciclista adicional (N.º 2). Assim, devido à similaridade entre os dados obtidos entre os 2 ciclistas, considerou-se que a apresentação dos dados relativos às monitorizações realizadas em Aveiro pelo ciclista 2 teriam lugar no Anexo B.1. deste documento.

No entanto, existem variações em alguns parâmetros, pelo que será feita uma breve comparação entre os valores obtidos para os 2 ciclistas. Com efeito, os percursos P1, P2 e P3, realizados pelo ciclista 2 de Aveiro são 8,5%, 8,4% e 2,5% mais céleres, respetivamente, do que quando efetuados pelo ciclista 1.

No que respeita à velocidade média, verifica-se que os percursos P1, P2 e P3 realizados pelo ciclista 2 apresentam valores de 5,0%, 5,8% e 3,6% superiores, respetivamente, face aos obtidos pelo ciclista 1.

No que se refere à velocidade máxima atingida em cada percurso, é possível observar que os percursos P1, P2 e P3 realizados pelo ciclista 2 apresentam valores 6,2%, 2,2% e 6,2% superiores, respetivamente, quando comparado com os valores obtidos pelo ciclista 1.

Para os valores de velocidade média atingida pelos ciclistas consoante o tipo de inclinação da via, é possível afirmar que para vias com inclinação negativa e com inclinação nula, o ciclista 2 apresenta valores 4,1% e 0,7% superiores, respetivamente, face aos obtidos pelo ciclista 1. Contudo, em vias com inclinação positiva, a velocidade média atingida pelo ciclista 2 é 2,3% inferior à atingida pelo ciclista 1.

Por último, no que concerne à representatividade dos modos BSP, verifica-se que a diferença obtida entre os 2 ciclistas é residual, verificando-se que os modos positivos de BSP se encontram representados em 71% do tempo total associado à realização do percurso, os modos 1 e 2 de BSP em 51%, o modo 0 de BSP em cerca de 5%, o modo BSP>4 em aproximadamente 1% e por último, os modos negativos de BSP correspondem a 24% do tempo total dos percursos.

4.1.2 Resultados para a potência específica nas bicicletas (BSP) no Porto para o ciclista 1

De forma análoga ao que foi feito no subcapítulo 4.1.1, neste subcapítulo 4.1-2 encontram-se, em forma de resumo na Tabela 16, os resultados da estatística de cada viagem realizada na cidade do Porto obtidos pelo ciclista 1, sendo que a recolha de dados por parte deste para a cidade do Porto teve a duração aproximada de 3,2 horas, o que corresponde a 11 430 segundos de monitorização dos diversos percursos em estudo, tendo as variáveis apresentadas na tabela sido recolhidas através do equipamento GNSS utilizado durante as monitorizações.

Tabela 16 - Estatística de viagem para os diversos percursos realizados na cidade do Porto pelo ciclista 1.

Percurso	P4a	P4b	P5a	P5b	P6a	P6b
Veículo	BC	BC	BC	BC	BC	BC
Número de viagens	2	2	2	2	2	2
Distância do percurso (km)	2,25	1,56	2,35	1,62	2,48	2,05
Tempo para a realização do percurso (segundos)	998,0	647,0	1062,5	715,0	1342,0	950,0
Inclinação média positivo (%)	12,0	8,0	12,0	9,1	12,0	10,0
Inclinação média negativa (%)	-13,0	-9,0	-10,0	-10,0	-11,0	-12,0
Velocidade média (km/h)	8,14	8,84	7,96	8,16	6,91	7,78
Velocidade máxima (km/h)	26,34	22,08	24,56	30,65	26,37	32,43

Importa referir que devido à dificuldade em efetuar medições nesta cidade, todos os percursos realizados nesta cidade foram alvo de apenas 3 medições, sendo 2 medições efetuadas pelo ciclista 1 que serão analisadas em detalhe neste subcapítulo e 1 medição realizada pelo ciclista 3. Na Tabela 16 encontram-se os resultados médios obtidos para essas 2 medições realizadas para cada percurso em análise para a cidade do Porto.

No que concerne ao tempo necessário à realização dos percursos, é possível que os percursos mais eficientes em tempo de viagem necessário para a sua realização são os percursos P4a e P4b que correspondem à viagem entre a Avenida dos Aliados e os Jardins do Palácio de Cristal, passando pelo Jardim do Carregal e ao seu sentido inverso, respetivamente. Deste modo, para os percursos com início na Avenida dos Aliados, e fim nos Jardins do Palácio de Cristal, foi possível verificar que o percurso P4a é cerca de 6,5% mais célere que o percurso P5a e cerca de 35% mais rápido que o percurso P6a.

No que se refere aos percursos no sentido inverso, isto é, aos percursos com início nos Jardins do Palácio de Cristal e término na Avenida dos Aliados, verifica-se que o percurso P4b, é o mais rápido de efetuar, sendo cerca de 11% mais célere que o percurso P5b e aproximadamente 47% mais rápido que o percurso P6b.

No tocante ao parâmetro inclinação média positiva, parâmetro apresentado em percentagem, é possível constatar que os 3 percursos com início na Avenida dos Aliados, e término nos Jardins do Palácio de Cristal, isto é, que os percursos P4a, P5a e P6a apresentam o mesmo valor, sendo este igual a 12%. Todavia, no que diz respeito aos percursos em sentido inverso, percursos P4b, P5b e P6b encontram-se variações significativas e deste modo serão alvo de análise já de seguida. Com efeito, para os percursos com início nos Jardins do Palácio de Cristal e fim na Avenida dos Aliados, verifica-se que o percurso P4b é aquele que apresenta um menor valor médio de inclinação positiva, 8%, sendo este valor cerca de 13% inferior ao obtido para o percurso P5b e 25% inferior ao registado para o percurso P6b.

No que diz respeito ao parâmetro inclinação média negativa verifica-se que o percurso P4a, é aquele que apresenta um maior valor associado a este parâmetro, cerca de -13%, sendo este valor 30% superior ao registado para o percurso P5a e aproximadamente 18% superior ao obtido para o percurso P6a. No que se refere ao valor do parâmetro inclinação média negativa para os percursos P4b, P5b e P6b, é possível verificar que o percurso P4b é aquele que apresenta um menor valor, sendo este 11% inferior ao obtido para o percurso P5b e 33% inferior ao registado para o percurso P6b.

No que diz respeito ao parâmetro velocidade média, é possível verificar que o percurso P4a é aquele que apresenta um valor de velocidade média superior, 8,14 km/h, sendo este valor cerca de 2,5% superior ao obtido para o percurso P5a e 18% superior ao registado para o percurso P6a. No que se refere aos trajetos em sentido inverso, é o percurso P4b aquele que apresenta o maior

valor deste parâmetro, 8,84 km/h, sendo este valor cerca de 8,5% superior ao obtido para o percurso P5b e aproximadamente 14% superior ao registado para o percurso P6b.

Em último lugar surge o parâmetro correspondente às velocidades máximas atingidas onde se verifica que, para os percursos P4a, P5a e P6a, é o percurso P6a, percurso que tem passagem pela Igreja da Santíssima Trindade, aquele que apresenta um maior valor deste parâmetro, porém este valor é muito similar ao obtido para o percurso P4a e cerca de 7% superior ao obtido para o percurso P5a. No sentido inverso, foi possível verificar que foi no percurso P6b que se registou o valor mais elevado de velocidade máxima atingido pelo ciclista, 32,43 km/h, sendo este 6% superior ao obtido para o percurso P5b e 47% superior ao valor registado para o percurso P4b.

Na Figura 31 apresenta-se a variação da velocidade média registada pelo ciclista em função da inclinação da estrada. Esta representação permite constatar que a velocidade média é mais elevada para valores mais elevados inclinações negativas e que esse valor vai diminuindo à medida que se aumenta o valor da inclinação, uma vez que este aumento é sinónimo de um abaixamento do nível de condições favoráveis para o ciclista se deslocar.

Assim, com o intuito de fornecer um melhor entendimento acerca da forma como a inclinação da via influencia a velocidade registada pelo ciclista, apresenta-se em seguida a Figura 31 que evidencia esta relação, bem como faz ressaltar algumas questões que serão abordadas em seguida.

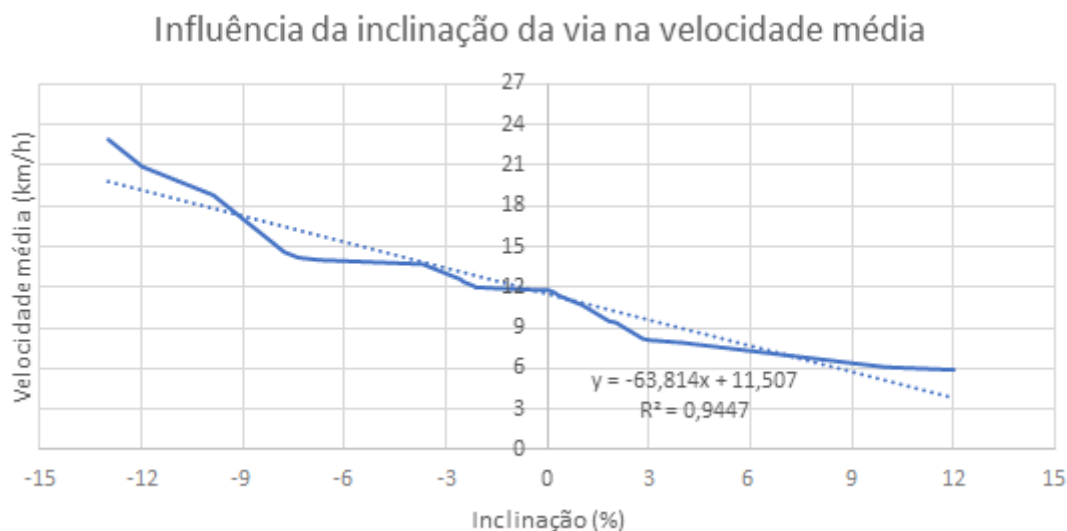


Figura 31 - Variação da velocidade média com a inclinação da estrada na cidade do Porto obtida pelo ciclista 1.

Pela análise da Figura 31 é possível constatar que a velocidade decresce à medida que o valor da inclinação aumenta, o que se encontra em concordância com o esperado. No que diz respeito aos valores negativos, à medida que as vias vão sendo menos inclinadas, vai sendo menos propício ao ciclista atingir velocidades tão elevadas como aquelas que atinge em descidas acentuadas e, por conseguinte, pela análise do lado esquerdo do gráfico é possível ver que à medida que o valor da inclinação decresce negativamente a velocidade do ciclista vai diminuindo. Já no que diz respeito aos valores positivos de inclinação verifica-se que a velocidade vai sempre diminuindo à medida que o valor da inclinação aumenta, isto é, vai sempre diminuindo à medida que se acentuam as subidas existentes no percurso, porém, pela análise da Figura 31 é possível observar que entre 0 e 3% há um decréscimo de velocidade acentuado, cerca de 1,3 km/h por cada 1% de aumento, sendo que esta variação vai sendo menor à medida que o valor da inclinação vai aumentando. De notar que para valores de inclinação positiva elevados, nomeadamente entre 9% e 12%, a variação de velocidade face ao aumento da inclinação é muito diminuta, cerca de 0,17 km/h por cada 1% de aumento, verificando-se também que o valor de velocidade atingida pelo

ciclista tende a estabilizar em cerca de 5,9 km/h como indica a linha horizontal no gráfico representada entre 9,5% e 12%.

Em seguida, apresenta-se a Tabela 17 onde é possível observar as velocidades médias obtidas consoante o tipo de inclinação verificada na via.

Tabela 17 - Relação entre a velocidade média registada e a inclinação da via na cidade do Porto obtida pelo ciclista 1.

Inclinação	Negativa	Neutra	Positiva
Velocidade média (km/h)	15,86	11,79	7,49

Pela análise da Tabela 17 é possível constatar que para valores negativos de inclinação, isto é, descidas, a velocidade média registada é cerca de 34% superior à obtida em vias planas e 112,1% superior à registada em subidas.

Importa ainda referir que se considerou um intervalo entre -1% e 1% de inclinação, para aferição do valor de velocidade média para vias planas, tendo-se chegado a um valor de 11,79 km/h.

Seguidamente à separação do BSP em modos (Tabela 13), procedeu-se à distribuição das mais de 3,18 horas de aquisição de dados pelo ciclista 1 na cidade do Porto, que correspondem a aproximadamente 11 430 segundos de informação obtida em condições reais de operação, pelos diferentes modos de BSP definidos, permitindo conhecer a percentagem de tempo de percurso associada a cada modo, de acordo com a Figura 32.

Na Figura 32 encontram-se representados os dados médios para a percentagem do tempo total despendido em cada modo de BSP, sendo que essa média foi alvo de uma divisão em duas parcelas. Por um lado, as colunas a azul na Figura 32 são representativas da média de tempo, em termos percentuais, despendido em cada modo BSP, para os percursos com início na Avenida dos Aliados, e término nos Jardins do Palácio de Cristal, dos quais fazem parte deste conjunto os percursos P4a, P5a e P6a. Já as colunas a verde são representativas da média de tempo, em termos percentuais, obtidas para os percursos P4b, P5b e P6b.

Efetuada uma análise comparativa entre as distribuições temporais em modo percentual para os dois sentidos de viagem, é possível constatar que os modos positivos de BSP se encontram abundantemente representados, perfazendo um total de cerca de 75% do tempo total despendido na realização dos percursos em ambos os sentidos.

Através da análise da Figura 32 é também possível verificar que os modos 1 e 2 de BSP apresentam uma elevada representatividade no que concerne ao tempo total despendido, tendo-se obtido para os percursos P4a, P5a e P6a uma representatividade de cerca de 51% do tempo necessário à realização destes e para os percursos em sentido inverso de 51,2. De notar que, sendo os modos 1 e 2 de BSP, modos que requisitam potências baixas (inferiores a 160 W), daqui é possível retirar que, em termos médios, em aproximadamente 51,2% do tempo necessário à realização dos diversos percursos em ambos os sentidos, o ciclista se desloca com um esforço físico moderado.

Importa também referir que o modo 0 de BSP, que representa instantes de tempo em que o ciclista se encontra parado, apresenta uma representação de 5,6% para os percursos P4a, P5a e P6a e de 5,7% para os percursos P4b, P5b e P6b, o que indica que o ciclista em termos médios, se encontra parado em cerca de 5,7% do tempo total necessário à realização dos percursos.

Pela análise da Figura 32 verifica-se também que, para modos de BSP elevados, nomeadamente para BSP>4, a representação é algo diminuta, o que é devido essencialmente ao facto do modo BSP>4 ser representativo da existência de potências muito elevadas, sendo estas superiores a 310 W, o que são níveis de potência difíceis de manter por um longo período de tempo por ciclistas não profissionais. Para este modo, é possível constatar que os percursos P4b, P5b e P6b apresentam uma representatividade ligeiramente superior à dos percursos P4a, P5a e P6a, dado que estes apresentam uma representatividade deste modo de 2,6%, valor que é cerca de 1% superior ao obtido para os percursos P4a, P5a e P6a nos quais se fica pelos 2,5%.

Por último, é possível observar-se que para ambos os sentidos dos percursos em análise, aproximadamente 20% do tempo necessário à realização dos mesmos é despendido em modos negativos de BSP, sendo que estes modos são representativos de situações de travagem ou de desaceleração por parte do ciclista.

É apresentada em seguida a Figura 32 com o intuito de promover um melhor entendimento ao leitor acerca da distribuição temporal em termos percentuais pelos diferentes modos de BSP escolhidos para esta análise.

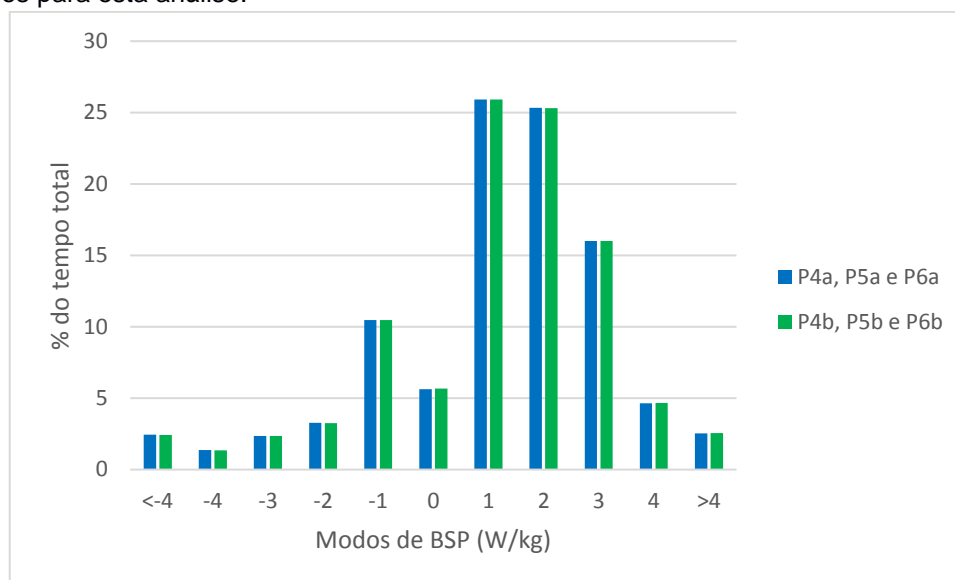


Figura 32 - Distribuição temporal (%) pelos diferentes modos de BSP para a cidade do Porto para percursos com início na Avenida dos Aliados, e término nos Jardins do Palácio de Cristal (P4a, P5a e P6a) a azul e para percursos com o sentido inverso ao anteriormente referido (P4b, P5b e P6b) a verde obtida pelo ciclista 1.

De realçar que os percursos monitorizados na cidade do Porto, tal como foi referido anteriormente, foram escolhidos devido essencialmente a duas questões fundamentais. Por um lado, a proximidade da Estação de Comboios de São Bento da Avenida dos Aliados, que despoleta deste modo um elevado fluxo de pessoas neste local por razões diversas, das quais se pode destacar questões laborais e de cariz turístico. Por outro lado, a escolha dos Jardins do Palácio de Cristal como segundo local prendeu-se essencialmente com questões paisagísticas, uma vez que este fornece uma vista magnífica para o Rio Douro, Ponte D. Luís I e Ribeira. De notar que a distância entre estes dois locais também se aproxima da distância entre os dois pontos escolhidos em Aveiro para realização de monitorizações, o que permite tirar algumas conclusões não só acerca da diferença temporal despendida para realizar as travessias com uma distância semelhante nas diferentes cidades que apresentam níveis de tráfego muito distintos, bem como permite fornecer um conjunto de informações no que diz respeito à segurança dos ciclistas e existência ou inexistência de locais próprios para a deslocação dos mesmos.

Na Figura 33 encontra-se representada a distribuição temporal em percentagem pelos diferentes modos de BSP para o conjunto de percursos que têm início na Avenida dos Aliados, e fim nos Jardins do Palácio de Cristal, do qual fazem parte os percursos P4a, P5a e P6a.

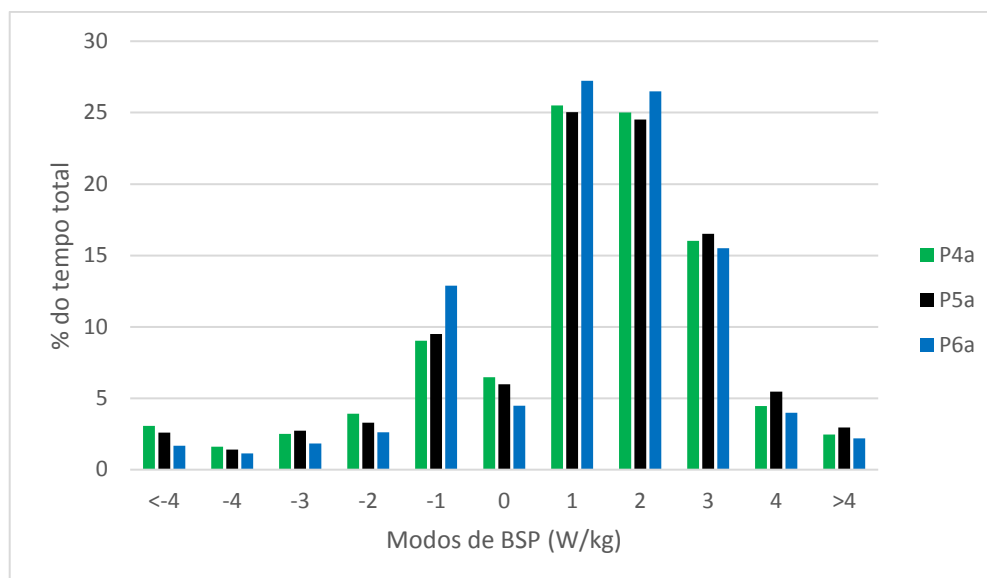


Figura 33 - Distribuição temporal (%) pelos diferentes modos de BSP para os percursos P4a, P5a e P6a obtido pelo ciclista 1.

No que concerne à representação dos modos positivos de BSP, verifica-se que o percurso P6a, perfazendo cerca de 76% do tempo necessário à realização deste percurso, sendo este valor 2,7% superior ao verificado para o percurso P4a e 1,22% superior relativamente ao percurso P5a. Uma vez que os modos positivos de BSP representam os modos de BSP onde é exigido esforço físico ao ciclista, daqui se retira que o ciclista executa esforço físico em cerca de $\frac{3}{4}$ do tempo necessário à realização dos percursos.

Importa também referir que os modos 1 e 2 de BSP em conjunto representam na maioria dos percursos mais de metade do tempo necessário à realização dos mesmos e pelo facto destes modos serem representativos de requisição de baixas potências ao ciclista, potências inferiores a 160 W, daqui é possível retirar que o ciclista se desloca grande parte do tempo em que lhe é exigido esforço físico, em regimes moderados, dado que dos cerca de 75% em que o esforço físico é requisitado ao ciclista, em cerca de 50% o ciclista desloca-se em regimes moderados. Para este caso em concreto, verifica-se que o percurso P6a é aquele que apresenta uma maior representatividade conjunta destes modos, dado que estes perfazem um valor de cerca de 54% do tempo total associado à realização deste percurso, sendo este valor 8,5% superior ao obtido para o percurso P5a e 6,39% superior ao verificado para o percurso P4a.

No que concerne ao modo 0 de BSP que corresponde a situações em que o ciclista se encontra parado, este encontra maior representatividade no percurso P4a, no qual o tempo associado a este modo corresponde a 6,5% do tempo total necessário para a realização do percurso, sendo este valor cerca de 8% superior ao obtido para o percurso P5a e aproximadamente 45% superior ao valor registado para o percurso P6a.

No que se refere ao modo BSP>4, o percurso P6a é aquele que apresenta uma menor representatividade deste modo, 2,19%, sendo este valor cerca de 36% inferior ao obtido para o percurso P5a e aproximadamente 12% inferior ao valor obtido para o percurso P4a.

Por fim, no que diz respeito à representatividade dos modos negativos de BSP, pode afirmar-se que o percurso P6a é aquele que apresenta um maior tempo associado a estes, com um valor de 20%, sendo este apenas 0,2% superior ao obtido para o percurso P4a e 3% superior ao percurso P5a. Uma vez que os modos negativos de BSP correspondem a situações de travagem ou desaceleração por parte do ciclista, verifica-se que o percurso P6a, percurso que tem passagem pela Igreja da Santíssima Trindade, é aquele que apresenta um maior número de situações deste tipo devido sobretudo a desacelerações em virtude da dificuldade que apresenta.

Em seguida, de modo análogo ao apresentado anteriormente na Figura 33, apresenta-se a Figura 34 onde se encontra a distribuição temporal em percentagem pelos diferentes modos de BSP para os percursos realizados na cidade do Porto com início nos Jardins do Palácio de Cristal e fim na Avenida dos Aliados, dos quais fazem parte os percursos P4b, P5b e P6b.

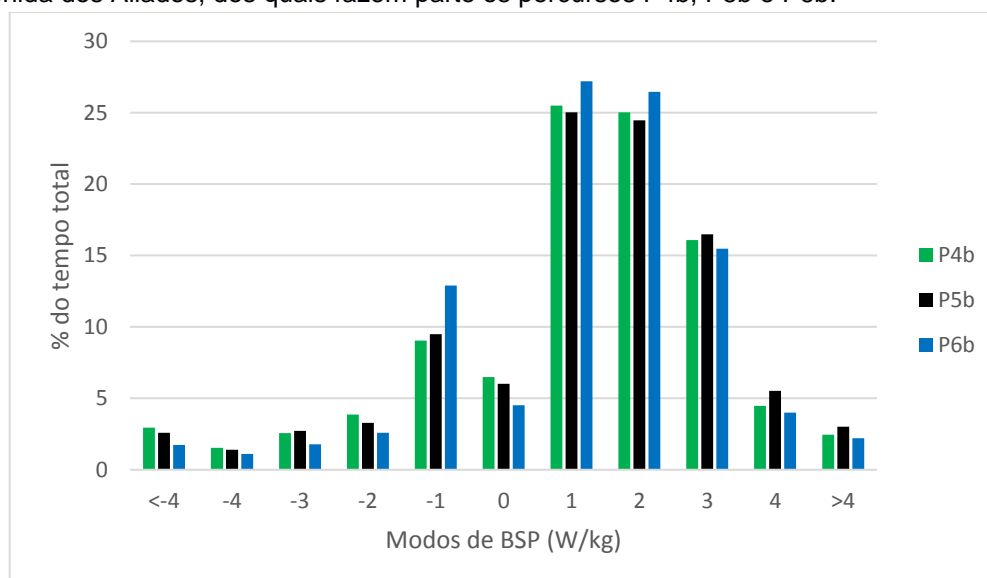


Figura 34 - Distribuição temporal (%) pelos diferentes modos de BSP para os percursos P4b, P5b e P6b obtida pelo ciclista 1.

No que diz respeito à representatividade dos modos positivos de BSP, verifica-se que o percurso P6b é aquele que apresenta uma maior representatividade destes modos, uma vez que estes perfazem cerca de 75,5% do tempo necessário à realização deste percurso, sendo este valor 2,5% superior ao obtido para o percurso P4a e 1,2% superior ao verificado para o percurso P6a. Dado que os modos positivos de BSP representam os modos de BSP onde é exigido esforço físico ao ciclista, daqui se retira que o ciclista executa esforço físico em cerca de $\frac{3}{4}$ do tempo necessário à realização dos percursos.

Importa também referir que os modos 1 e 2 de BSP em conjunto representam na maioria dos casos, mais de metade do tempo necessário à realização dos percursos e pelo facto destes modos de BSP serem representativos da requisição de baixas potências ao ciclista, potências inferiores a 160 W, daqui se retira que o ciclista se desloca grande parte do tempo em que lhe é exigido esforço físico, em regimes moderados, dado que dos cerca de 75% associados ao período em que é requisitado esforço físico ao ciclista, este desloca-se apenas 25% em modos positivos de BSP elevados, nomeadamente em modos 3, 4 e >4 de BSP, onde é efetivamente requerido um maior esforço físico ao ciclista, dado que nos restantes 50% se desloca nos modos 1 e 2 de BSP. Para este caso em concreto, é possível constatar que o percurso P6b é aquele que apresenta maior representatividade conjunta destes modos de BSP, perfazendo um total de cerca de 54% do tempo total associado à realização deste percurso, sendo este valor aproximadamente 9% superior ao obtido para o percurso P5b e cerca de 6% superior ao valor obtido para o percurso P4b.

No que concerne ao modo 0 de BSP que é representativo de situações em que o ciclista se encontra parado, este encontra maior representatividade no percurso P4b, no qual o tempo associado a este modo corresponde a 6,5% do tempo total necessário para a realização do percurso, sendo este valor 8% superior ao valor obtido para o percurso P5b e cerca de 44% superior ao valor obtido para o percurso P6b.

No que se refere ao modo BSP >4, verifica-se que o percurso P6b é aquele que apresenta uma menor representatividade deste modo, apresentando um valor de 2,2%, sendo este valor cerca

de 36% inferior ao obtido para o percurso P5b e aproximadamente 12% inferior ao valor obtido para o percurso P4b

Por último, no que diz respeito à representatividade dos modos negativos de BSP, pode concluir-se que o percurso P6b é aquele que apresenta um maior tempo associado a estes, com um valor de 20%, sendo este apenas 0,8% superior ao obtido para o percurso P4b e aproximadamente 3% superior ao obtido para o percurso P5b. Uma vez que os modos negativos de BSP correspondem a situações de travagem ou desaceleração por parte do ciclista, verifica-se que o percurso P6b é aquele que possui uma maior distribuição temporal por estes modos, sendo que esta não é tanto causada por situações de travagem, mas sim por situações de fadiga causadas por subidas acentuadas que se registam ao longo da realização do percurso.

Importa recordar que para a cidade do Porto, os percursos foram também realizados por outro ciclista (n.º 3). Desta forma, devido à similaridade entre os dados obtidos entre os 2 ciclistas, optou-se por incluir a apresentação dos dados relativos às monitorizações realizadas no Porto pelo ciclista 3 no Anexo B.2. deste documento.

No entanto, existem variações em alguns parâmetros, pelo que será feita uma análise comparativa dos valores obtidos para os dois ciclistas que monitorizam percursos na cidade do Porto. Assim, verificou-se que os percursos P1 e P2 realizados pelo ciclista 1 são 0,3% e 1,9% mais céleres do que quando realizados pelo ciclista 3. Por oposição, verifica-se que o percurso P2 quando realizado pelo ciclista 3 apresenta um tempo total 0,1% inferior ao obtido pelo ciclista 1.

No que respeita aos valores de velocidade média, é possível afirmar que as diferenças obtidas são residuais, tendo-se obtido um valor de velocidade média de 8,49 km/h para o percurso P1, de 8,06 km/h para o percurso P2 e de 7,34 km/h para o percurso P3 para ambos os ciclistas que analisaram estes percursos.

No que se refere à velocidade máxima atingida em cada percurso, é possível observar que o percurso P1 realizado pelo ciclista 3 apresenta um valor de velocidade máxima 7,9% superior ao obtido para o ciclista 1. Por oposição, os percursos P2 e P3 apresentam, respetivamente, valores 17,3% e 11,3% inferiores face aos obtidos para os mesmos percursos pelo ciclista 1.

Para valores de velocidade média atingida pelos ciclistas consoante o tipo de inclinação da via, é possível afirmar que para vias com inclinação negativa, a velocidade média atingida pelo ciclista 3 é 6,6% superior à atingida pelo ciclista 1. Por oposição, perante situações sem inclinação, o valor obtido para o ciclista 3 é 0,7% inferior ao obtido para o ciclista 1. Por último, para situações de inclinação positiva, observa-se que os valores de velocidade média atingidos por ambos os ciclistas são iguais.

Por fim, no que concerne à representatividade dos modos BSP, verifica-se que a diferença obtida entre os 2 ciclistas é residual, podendo-se observar que os modos positivos de BSP se encontram representados em aproximadamente 75% do tempo total associado à realização dos percursos, os modos 1 e 2 de BSP em cerca de metade do tempo, isto é, em 50% do tempo total necessário à realização das travessias, o modo 0 de BSP em 5% do tempo, o modo BSP>4 em aproximadamente 3% do tempo total e por último, os modos negativos de BSP apresentam representatividade em aproximadamente 20% do tempo total necessário para realizar as rotas.

4.2 Dados fisiológicos

Como mencionado anteriormente, para todas as monitorizações realizadas pelos diversos ciclistas foi utilizado um equipamento para a aquisição de sinais fisiológicos denominado *Vital Jacket* onde se registou a frequência cardíaca, que será designada por BC, sendo que esta designação é a abreviatura de batimento cardíaco.

A utilização deste equipamento que permite o registo segundo a segundo do batimento cardíaco do ciclista prendeu-se sobretudo com o facto de se pretender verificar uma relação entre o batimento cardíaco e a dinâmica subjacente à referida viagem, isto é, ou antes dizendo melhor,

poder verificar qual a variação que sofre o batimento cardíaco de um ciclista quando este aumenta ou diminui a velocidade a que se desloca, caso se encontre respetivamente num cenário de subida ou pelo contrário numa descida. Assim, com o intuito de alcançar esses dados, considerou-se relevante arranjar um elo entre o batimento cardíaco do ciclista e o valor de BSP, visto que o BSP por si só, é uma variável que agrega três variáveis distintas, sendo elas a inclinação, a aceleração e a velocidade (Mendes, Duarte & Baptista, 2015).

Após as monitorizações, os dados do batimento cardíaco foram sujeitos a uma análise minuciosa com o intuito de verificar e corrigir eventuais erros de registo do equipamento devido essencialmente ao facto de este ser um equipamento em contínua evolução e deste modo ainda possuir algumas lacunas e à presença de algum ruído no sinal que deste modo dificultaria a correta interpretação dos dados caso não se procedesse a esta correção realizada de forma manual. Assim, após esta correção, não se verificou a necessidade de supressão de dados uma vez que estes se encontravam em conformidade com o expectável e deste modo o tempo de estudo associado aos sinais fisiológicos é igual ao tempo associado à realização das viagens em ambas as cidades, sendo de aproximadamente 8,7 horas para a Cidade de Aveiro e de 4,7 horas para a cidade do Porto.

Assim, com o intuito de fornecer um melhor entendimento ao leitor acerca da importância da correta leitura dos dados pelo *Vital Jacket*, segue-se a Figura 35 onde é possível visualizar a existência de uma relação clara entre o $(\frac{\Delta BC}{\Delta t})$ e o BSP, com recurso aos dados relativos às monitorizações realizadas pelos ciclistas 1 e 2, nos diversos percursos em estudo na cidade de Aveiro.

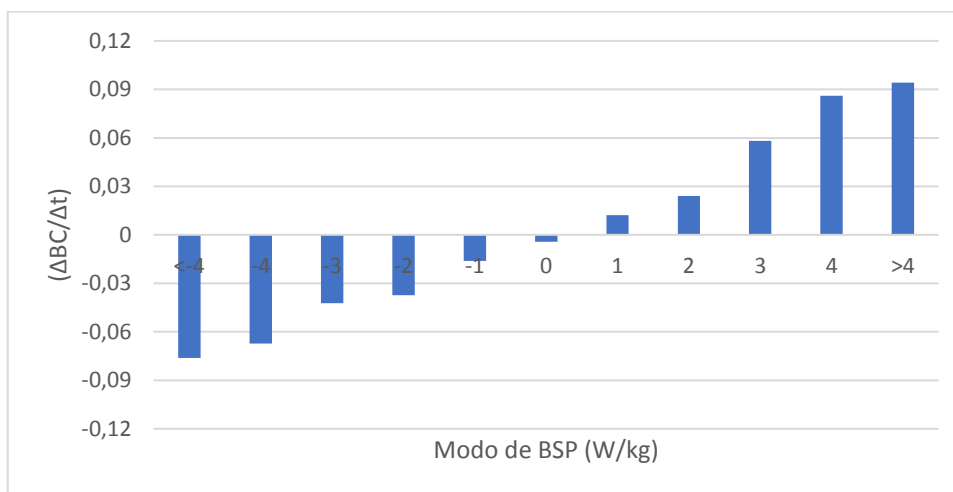


Figura 35 - Relação entre $(\frac{\Delta BC}{\Delta t})$ e BSP para as monitorizações em Aveiro.

Pela consulta da Figura 35 verifica-se uma diminuição no valor de $(\frac{\Delta BC}{\Delta t})$ para os modos negativos de BSP, dado que, à medida que o gráfico se desloca da esquerda para a direita até ao modo 0 de BSP, a redução do batimento cardíaco vai sendo sucessivamente menor devido ao facto de estes modos se irem tornando sucessivamente menos favoráveis ao ciclismo, o que não permite ao ciclista abrandar o seu ritmo de deslocação de uma forma tão significativa, que tem como seria expectável influência direta no seu batimento cardíaco, que embora vá diminuindo, a sua diminuição vai sendo cada vez menor. Assim, de uma forma sucinta pode afirmar-se que para os modos negativos de BSP, se proporcionam condições de recuperação do batimento cardíaco, ou seja, $(\frac{\Delta BC}{\Delta t})$ negativo. Estes resultados encontram-se em linha com o trabalho desenvolvido por Mendes, Duarte & Baptista, 2015.

Pela análise da Figura 35 é possível verificar que para o modo 0 de BSP, que corresponde a situações em que o ciclista se encontra parado, este sofre uma redução no seu batimento cardíaco, o que por conseguinte, tem como consequência a obtenção de um valor de $(\frac{\Delta BC}{\Delta t})$ negativo.

Através da Figura 35 é também possível constatar que para modos positivos de BSP, o valor de batimento cardíaco do ciclista aumenta à medida que o modo de BSP positivo aumenta, dado que o aumento do modo de BSP simboliza o aumento de esforço físico requerido ao ciclista, o que tem como consequência direta o aumento do seu batimento cardíaco. Tal facto é evidenciado na Figura 35 onde se verifica que para os modos positivos de BSP o valor de $(\frac{\Delta BC}{\Delta t})$ é positivo e de forma crescente de modo para modo.

De forma análoga ao realizado para a cidade de Aveiro, apresenta-se em seguida a Figura 36 onde se verifica do mesmo modo uma relação clara entre o valor de $(\frac{\Delta BC}{\Delta t})$ e os modos de BSP, utilizando os dados referentes às monitorizações realizadas pelos ciclistas 1 e 3, nos diversos percursos em análise na cidade do Porto.

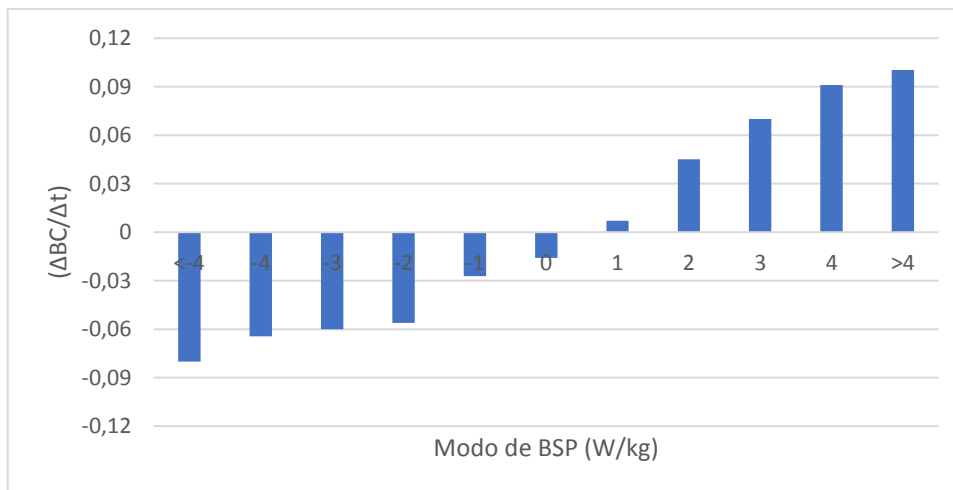


Figura 36 - Relação entre $(\frac{\Delta BC}{\Delta t})$ e BSP para as monitorizações no Porto.

Através da Figura 36 verifica-se, tal como para a cidade de Aveiro, uma diminuição no valor de $(\frac{\Delta BC}{\Delta t})$ para os modos negativos de BSP, estando esta relacionada com o facto de que à medida que os modos negativos se aproximam do modo 0 de BSP, a facilidade com que o ciclista se desloca vai diminuindo, fazendo com que este não baixe tanto o seu ritmo cardíaco. Em suma, os modos negativos de BSP proporcionam a recuperação do batimento cardíaco, ou seja, apresentam valores de $(\frac{\Delta BC}{\Delta t})$ negativos.

Importa também referir que para o modo 0 de BSP, que é representativo dos momentos em que o ciclista se encontra em repouso, verifica-se um valor negativo de $(\frac{\Delta BC}{\Delta t})$, como seria expectável, uma vez que o ciclista circula maioritariamente em modos positivos de BSP, onde lhe é exigido esforço físico, o que tem como consequência um maior batimento cardíaco. Quando há a passagem de uma situação em que o ciclista se encontra em movimento, isto é, em qualquer um dos modos apresentados no gráfico para uma situação de repouso, que é representada pelo modo 0 de BSP, é de esperar que o ritmo cardíaco do ciclista diminua, sendo esta situação mencionada representada através do valor negativo de $(\frac{\Delta BC}{\Delta t})$.

Por último, no que concerne aos modos positivos de BSP é possível constatar que o valor do batimento cardíaco aumenta à medida que vai aumentando o modo de BSP, o que também seria expectável, dado que um maior modo de BSP está associado a uma maior potência, o que é representativo de um esforço físico maior por parte do ciclista que tem como consequência um aumento do seu batimento cardíaco. Assim, verifica-se que o valor de $(\frac{\Delta BC}{\Delta t})$ é sempre positivo e de forma crescente com o BSP.

Assim, apresenta-se na Tabela 18 os $\sum(\Delta BC)$ para as cidades de Aveiro e do Porto, observando-se que o aumento do batimento cardíaco é 40,2% menor para a cidade de Aveiro face à cidade do Porto. Tal resultado significa, que a utilização da bicicleta na cidade de Aveiro conduz a um abaixamento das flutuações de frequência cardíaca em cerca de 40,2%, quando comparado à utilização da bicicleta na cidade do Porto.

Tabela 18 - $\sum(\Delta BC)$ para a cidade de Aveiro e do Porto.

	$\sum(\Delta BC)$
Aveiro	1,28
Porto	2,14

Uma outra variável relevante para este estudo baseia-se na energia global que é despendida pelo ciclista, e que doravante será designada por ED. Assim, de acordo com estudos realizados anteriormente, é possível a determinação, através do batimento cardíaco (BC), da energia que é efetivamente consumida pelo corpo humano no decorrer da prática de atividade física, apresentando este valor uma boa aproximação ao valor real (Gastinger et al., 2012; Ainslie et al. 2003; Keystel et al., 2005).

Durante a realização da revisão bibliográfica encontraram-se os três artigos mencionados anteriormente, onde são sugeridas expressões com maior ou menor complexidade, que permitem o cálculo aproximado do valor da energia global que é gasta pelo utilizador da bicicleta em função da frequência cardíaca registada por este. Estas expressões, bem como os parâmetros necessários ao seu cálculo, serão apresentadas em seguida.

Equação 4 - ED em função do BC segundo a referência (Gastinger et al, 2012).

$$ED = 0,103 \times BC - 4,795$$

Na qual:

- ED: Energia Despendida (kcal/min);
- BC: Batimento Cardíaco (BPM).

Equação 5 - ED em função do BC segundo a referência (Ainslie et al, 2003).

$$ED = 0,0056 \times BC^2 - 0,6908 \times BC + 26,532$$

Na qual:

- ED: Energia Despendida (kJ/min);
- BC: Batimento Cardíaco (BPM).

Equação 6 - ED em função do BC segundo a referência (Keystel et al, 2005).

$$ED = \text{género} \times (-55,0969 + 0,6309 \times BC + 0,1988 \times \text{peso} + 0,2017 \times \text{idade}) \\ + (1 - \text{género}) \times (-20,4022 + 0,4472 \times BC - 0,1263 \times \text{peso} + 0,074 \times \text{idade})$$

Na qual:

- ED: Energia Despendida (kJ/min);
- BC: Batimento Cardíaco (BPM);
- Género=0 para mulheres e género=1 para homens;
- Peso: Peso de cada ciclista que efetuou as monitorizações;
- Idade: Idade associada a cada um dos ciclistas que realizaram as monitorizações.

No presente trabalho, os ciclistas 1 e 3 eram do sexo masculino (género=1), ambos com 23 anos de idade e com um peso associado de 70 kg, e o ciclista 2 era do sexo feminino (género=0), com 20 anos e com um peso associado de 54 kg.

Com o intuito de obter o valor da energia despendida por segundo, em Wh/s, procedeu-se às conversões das equações referidas anteriormente – Equação 4, Equação 5 e Equação 6 – de modo

a permitir a apresentação da energia global despendida pelo ciclista em unidades menos usuais ao que habitualmente se encontra, isto é, kcal/min e kJ/min, o que permite fazer, caso queiramos, uma comparação entre a energia consumida pelo ciclista e a energia gasta por um motor elétrico inserido numa bicicleta, o que cada vez se verifica com maior frequência nas bicicletas de uso quotidiano.

Assim, a partir das equações referidas anteriormente, já na unidade pretendida, Wh/s, obteve-se a representação do valor médio das três equações apresentadas anteriormente, que se encontra representada na figura seguinte e que corresponde à Equação 7, que se apresenta em seguida (Mendes, 2014).

Equação 7 - ED em função do BC, equação média (Mendes, 2014).

$$ED = (9 \times 10^{-6}) \times BC^2 + 0,0006 \times BC - 0,0449$$

Na qual:

- ED: Energia despendida por segundo (Wh/s);
- BC: Batimento cardíaco (BPM).

Dessarte, com o intuito de fornecer um melhor entendimento ao leitor acerca das representações das diferentes equações, apresenta-se em seguida a Figura 39 onde se encontra a representação do valor médio (média realizada ponto a ponto) das três equações utilizadas para estimar a energia despendida pelo ciclista.

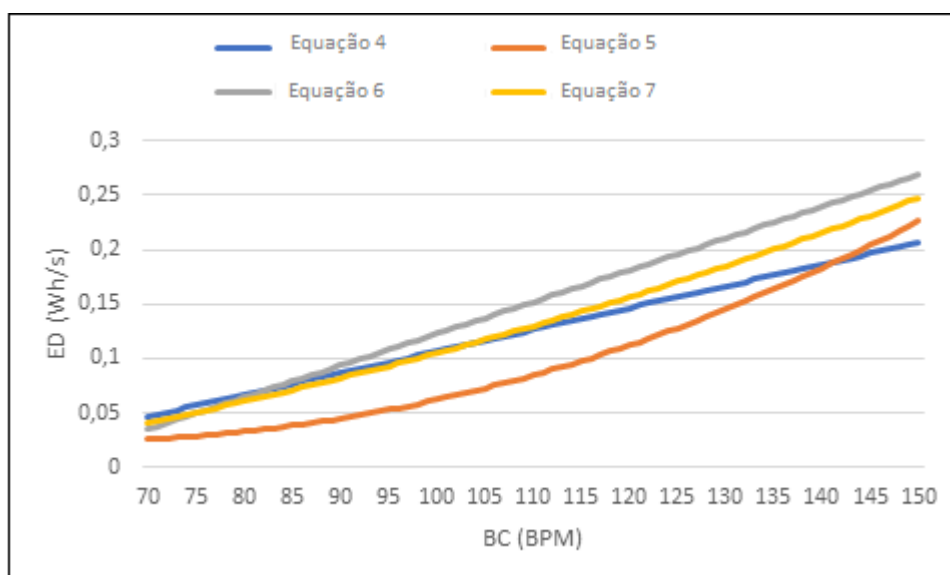


Figura 37- Energia global despendida pelo utilizador da bicicleta em função do batimento cardíaco registado (adaptada de Mendes, 2014).

Deste modo, após a obtenção da equação média, Equação 7, que expressa a energia despendida por segundo de movimento pelo ciclista em Wh/s, utilizou-se a mesma para as restantes análises efetuadas neste trabalho por forma a obter os valores de ED (energia despendida), em função do BC (batimento cardíaco).

Utilizando as 8,7 horas de dados fisiológicos obtidos para a cidade de Aveiro, sendo 5,9 horas pertencentes ao ciclista 1 e 2,8 horas pertencentes ao ciclista 2 e as 4,7 horas de dados fisiológicos obtidos para a cidade do Porto, sendo 3,2 horas pertencentes ao ciclista 1 e 1,5 horas ao ciclista 3 e com recurso à Equação 4.2-4, foi possível a obtenção do valor de ED (Wh/s) para cada segundo de travessia. Importa referir que neste estudo, os *inputs* correspondem ao valor do batimento cardíaco obtido a cada segundo da travessia e não o valor de $(\frac{\Delta BC}{\Delta t})$ da análise anterior.

Em seguida, agrupou-se os valores de ED (energia despendida) por modo de BSP e fez-se a média desses valores para cada modo, obtendo-se deste modo os perfis de ED (Wh/s) para ambas as cidades em análise, estando estes apresentados na Figura 40.

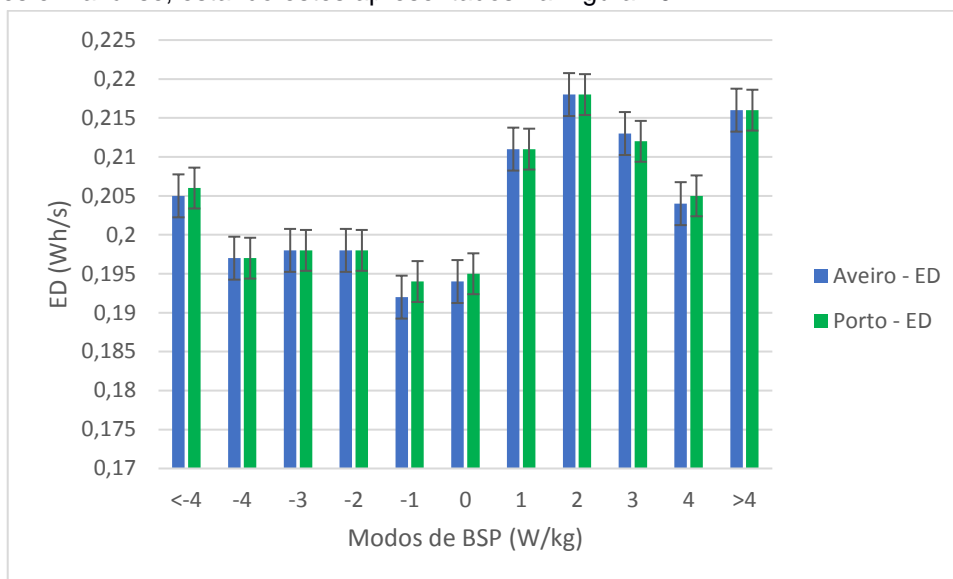


Figura 38 - ED por modo de BSP para as cidades de Aveiro e Porto.

Em seguida, procedeu-se à multiplicação dos perfis de energia despendida (ED), em Wh/s, apresentados na Figura 40 pela distribuição temporal dos diferentes modos de BSP, em segundos, para os diversos percursos em análise nas cidades de Aveiro e Porto, obtendo-se desta forma o valor de ED (Wh) total em cada um dos modos de BSP. Assim, com o intuito de fornecer um melhor entendimento ao leitor acerca do procedimento anteriormente mencionado, apresenta-se nas Tabelas 19 e 20, os valores de energia despendida (ED) em Wh, relativos às cidades de Aveiro e Porto, respetivamente, obtidos com base nos dados provenientes das monitorizações efetuadas pelo ciclista 1 em ambas as cidades em estudo.

Tabela 19 - Energia total despendida (Wh) em cada um dos modos de BSP na cidade de Aveiro com os dados provenientes das monitorizações efetuadas pelo ciclista 1.

Modos BSP	Percursos em Aveiro					
	P1a	P1b	P2a	P2b	P3a	P3b
<-4	2,50	2,53	1,85	1,98	1,91	1,98
-4	0,59	0,72	0,46	0,59	0,85	0,79
-3	2,45	2,58	1,85	1,91	2,50	2,51
-2	5,21	5,22	3,89	4,29	6,34	6,27
-1	16,32	16,45	12,23	13,44	18,37	18,11
0	5,69	5,82	4,20	4,53	6,21	6,01
1	35,23	35,52	28,20	30,95	36,57	36,01
2	33,79	33,87	26,02	29,07	34,81	34,23
3	16,76	16,75	8,38	9,66	19,03	18,74
4	2,45	2,59	1,84	2,04	3,88	3,81
>4	1,01	1,22	0,57	0,65	2,09	2,02

Tabela 20 - Energia total despendida (Wh) em cada um dos modos de BSP na cidade do Porto com os dados provenientes das monitorizações efetuadas pelo ciclista 1.

Modos BSP	Percursos no Porto					
	P4a	P4b	P5a	P5b	P6a	P6b
<-4	6,28	3,92	5,66	3,81	4,62	3,40
-4	3,15	1,96	2,96	1,97	2,98	2,07
-3	4,95	3,27	5,74	3,86	4,86	3,37
-2	7,72	4,95	6,93	4,65	6,94	4,85
-1	17,46	11,35	19,60	13,19	33,57	23,77
0	12,57	8,19	12,38	8,39	11,70	8,38
1	53,70	34,83	56,13	37,77	77,13	54,54
2	54,39	35,31	56,79	38,15	77,49	54,83
3	33,92	22,06	37,21	25,02	44,11	31,17
4	9,12	5,94	11,89	8,10	10,96	7,79
>4	5,29	3,44	6,80	4,64	6,34	4,53

Assim, após a consulta das Tabelas 19 e 20, é possível verificar que a energia despendida nos diferentes modos BSP é muito díspar, sendo esta consequência das flutuações das representatividades dos diferentes modos BSP nos percursos. Todavia, é possível retirar que para ambas as cidades em estudo, os modos de BSP onde se encontra um maior valor de energia despendida (Wh), são os modos 1 e 2 de BSP, uma vez que estes em conjunto perfazem um total de aproximadamente 50% do tempo associado à realização dos percursos, sendo, por conseguinte, os modos onde o ciclista despende mais energia.

Pela consulta das Tabelas 19 e 20, é ainda possível concluir que os valores obtidos para os mesmos modos de BSP entre cidades diferentes são bastante diferentes, o que é uma consequência direta do tempo necessário de realização dos percursos, dado que em Aveiro, devido à baixa inclinação das vias, o ciclista consegue efetuar os percursos num período de tempo muito inferior, o que por conseguinte fará com que se obtenha valores de energia despendida muito inferiores face aos percursos monitorizados na cidade do Porto, nos quais devido à complexa orografia que a cidade apresenta, os tempos necessários para a realização dos percursos são significativamente superiores.

De seguida, após a obtenção do dispêndio de energia em cada modo de BSP para os diferentes percursos em análise em ambas as cidades, procedeu-se à soma de todos os valores de ED (Wh) em cada percurso com o intuito de se obter o valor de energia despendida, ED (Wh) total, para cada um dos percursos em análise, por forma a ser possível um melhor entendimento acerca de quais os percursos mais favoráveis, isto é, aqueles em que o ciclista despende um menor valor de energia, e dos percursos menos favoráveis, ou seja, percursos onde o ciclista terá de gastar mais energia para efetuar a travessia entre os pontos de partida e chegada mencionados anteriormente.

Destarte, por forma a fornecer os valores fornecidos da energia despendida, ED (Wh), total média, obtida para cada um dos percursos em análise para ambas as cidades em estudo, apresenta-se em seguida duas tabelas, sendo que na Tabela 21 estarão apresentados os valores de ED (Wh) total média para os percursos realizados na cidade de Aveiro e na Tabela 22, os valores de ED (Wh) total média para os percursos monitorizados na cidade do Porto.

Tabela 21 - Energia total média (Wh) despendida em cada um dos percursos monitorizados na cidade de Aveiro pelo ciclista 1.

Percursos em Aveiro						
	P1a	P1b	P2a	P2b	P3a	P3b
ED (Wh)	122,00	123,27	89,49	99,11	132,56	130,48

Pela análise da Tabela 21 é possível verificar que os percursos P2a e P2b, são aqueles que têm associado um menor valor de energia despendida, sendo que o percurso P2a corresponde ao percurso com início na Universidade de Aveiro e destino na Estação de Comboios, passando pela Avenida de Santa Joana, e o percurso P2b corresponde ao trajeto inverso, isto é, o percurso P2b é correspondente à travessia com ponto de partida na Estação de Comboios e ponto de chegada na Universidade de Aveiro, tendo passagem pela Avenida de Santa Joana.

Este resultado provém do facto destes percursos possuírem um tempo de realização deveras inferior ao registado para os restantes percursos em análise, sendo o percurso P2a aquele que apresenta um menor tempo de realização, 429,7 segundos, contrastando com os 585,3 segundos obtidos para o percurso P1a e 637,0 segundos obtidos para o percurso P3a. No tocante aos percursos em sentido inverso, o percurso P2b é aquele que também apresenta um menor tempo necessário à sua realização, sendo este de 475,7 segundos, o que é 24,4% inferior aos 591,7 segundos obtidos para o percurso P1b e aos 627 segundos verificados para o percurso P3b.

Relativamente aos percursos com ponto de partida na Universidade de Aveiro e destino na Estação de Comboios, o percurso P2a apresenta um valor de energia despendida cerca de 36% inferior ao do percurso P1a e aproximadamente 48% inferior ao valor obtido para o percurso P3a. De forma análoga aos percursos anteriormente mencionados, para os percursos com ponto de partida na Estação de Comboios e destino na Universidade de Aveiro, é uma vez mais o percurso que tem passagem pela Avenida de Santa Joana, isto é, o percurso P2b aquele que apresenta um menor valor de energia total despendida, 99,11 Wh, sendo este valor cerca de 24% inferior ao registado para o percurso P1b e aproximadamente 32% inferior ao obtido para o percurso P3b.

Em consequência das conclusões mencionadas acima, é possível concluir que os percursos P2a e P2b, isto é, os percursos que têm passagem pela Avenida de Santa Joana em Aveiro são aqueles que inequivocamente permitem um menor esforço ao ciclista, dado que são aqueles que apresentam um menor dispêndio de energia face aos restantes percursos em estudo, o que permite concluir que os percursos com passagem pela Avenida de Santa Joana serão os percursos mais vantajosos para implementação de ciclovias em Aveiro, porque além das vantagens já referidas ao longo da dissertação, nomeadamente no que concerne ao tempo necessário para a sua realização, que é muito inferior ao dos restantes percursos, são também aqueles onde o dispêndio de energia é muito menor, o que instigará uma maior taxa de população a iniciar as suas deambulações quotidianas com recurso à bicicleta, o que trará uma panóplia de fatores favoráveis à cidade, nomeadamente no tocante à diminuição da densidade de tráfego e sua consequente poluição.

Tabela 22 - Energia total média (Wh) despendida em cada um dos percursos monitorizados na cidade do Porto pelo ciclista 1.

Percursos no Porto						
	P4a	P4b	P5a	P5b	P6a	P6b
ED (Wh)	208,55	135,22	222,09	149,55	280,70	198,70

Pela análise da Tabela 22 é possível concluir que os percursos P4a e P4b, são aqueles que apresentam um menor valor de energia total média despendida (Wh), sendo que o percurso P4a corresponde ao percurso com início na Avenida dos Aliados e fim nos Jardins do Palácio de Cristal, passando pelo Jardim do Carregal, e o percurso P4b corresponde à travessia em sentido inverso, isto é, o percurso P4b corresponde ao trajeto que tem como ponto de partida os Jardins do Palácio

de Cristal e como ponto de chegada a Avenida dos Aliados, passando, tal como o anterior, pelo Jardim do Carregal.

Este resultado advém sobretudo do facto dos percursos P4a e P4b possuírem um tempo necessário à sua realização significativamente inferior aos seus homólogos, sendo que para os percursos com início na Avenida dos Aliados e término nos Jardins do Palácio de Cristal, o percurso P4a é aquele que apresenta um menor tempo necessário à sua realização, 998 segundos, sendo 64,5 segundos inferior ao valor obtido para o percurso P5a que apresenta um tempo médio necessário à sua realização de 1062,5 segundos e 344 segundos inferior ao tempo necessário para a realização do percurso P6a, no qual se regista um valor de 1342 segundos. No que respeita aos percursos em sentido inverso, isto é, aos percursos com início nos Jardins do Palácio de Cristal e fim na Avenida dos Aliados, verifica-se novamente que é o percurso P4b, percurso que tem passagem pelo Jardim do Carregal, que apresenta um menor tempo necessário a sua realização, cerca de 647 segundos, sendo este período 68,5 segundos inferior ao do percurso P5b e 303 segundos inferior ao observado para o percurso P6b, o que tem influência direta nos valores obtidos para a energia total média despendida (Wh) para os diferentes percursos em análise na cidade do Porto.

Destarte, para os percursos com início na Avenida dos Aliados, e término nos Jardins do Palácio de Cristal, verifica-se que o percurso P4a é aquele que apresenta um menor valor de energia, 208,6 Wh, valor que é 6,5% inferior ao obtido para o percurso P5a e 34,6% inferior ao verificado para o percurso P6a.

De forma análoga aos percursos referidos anteriormente, verifica-se uma vez mais que, para os percursos com início nos Jardins do Palácio de Cristal e término na Avenida dos Aliados, é o percurso que tem passagem pelo Jardim do Carregal, isto é, o percurso P4b aquele que apresenta um menor valor de energia total média despendida (Wh), 135,2 Wh, sendo este valor 10,6% inferior ao obtido para o percurso P5b e aproximadamente 47% inferior ao verificado para o percurso P6b.

Deste modo, em consequência das conclusões acima mencionadas, é possível concluir que os percursos P4a e P4b, isto é, os percursos que têm passagem pelo Jardim do Carregal na cidade do Porto são aqueles que permitem um menor dispêndio de energia por parte do ciclista, dado que são aqueles em que se verifica um menor valor de energia total média despendida (Wh), o que por conseguinte permite deduzir que estes seriam os percursos que se revelam mais vantajosos para implementação de um ciclovias que permita interligar a Avenida dos Aliados aos Jardins do Palácio de Cristal, uma vez que para além das vantagens já mencionadas anteriormente, especialmente no que diz respeito ao tempo necessário à realização destes percursos, que é muito inferior ao dos restantes percursos em estudo, são também os percursos que apresentam um menor dispêndio de energia, o que instigará uma maior fatia da população a iniciar as suas deslocações quotidianas com recurso à bicicleta, o que trará um número significativo de vantagens, dos quais podemos destacar a diminuição da densidade de tráfego, que é enormíssima a qualquer hora entre estes dois pontos em estudo, o que terá consequências diretas na emissão de poluentes, dado que esta será reduzida de forma drástica.

Após a obtenção da energia total média despendida (Wh) para cada um dos percursos em análise, efetuou-se a divisão desses valores pela distância total correspondente a cada percurso em estudo de forma a alcançar o valor da energia total que é efetivamente gasta por quilómetro percorrido, isto é, ou antes dizendo melhor, o valor da energia total que é gasta pelo utilizador da bicicleta na unidade Wh/km, uma vez que os percursos possuírem um maior valor de energia total em Wh não é sinónimo de serem percursos onde esse consumo é superior por km, apenas nos revela que têm uma maior extensão e por conseguinte um maior tempo associado à sua realização, tal como veremos em seguida.

Dessa forma, com o intuito de fornecer os dados relativos ao consumo de energia por km para cada um dos percursos em análise em ambas as cidades em estudo, apresentam-se em seguida as Tabelas 23 e 24, onde se encontram os valores médios obtidos para a energia

despendida por quilómetro para cada percurso, sendo a Tabela 23 referente aos percursos monitorizados na cidade de Aveiro e a Tabela 24 relativa aos percursos realizados na cidade do Porto.

Tabela 23 - Energia despendida por km (Wh/km) em cada um dos percursos monitorizados na cidade de Aveiro pelo ciclista 1.

Percursos em Aveiro						
	P1a	P1b	P2a	P2b	P3a	P3b
ED/km (Wh/km)	44,18	44,50	41,05	44,64	46,68	45,94

Pela consulta da Tabela 23 é possível concluir que o percurso P2a, percurso com início na Universidade de Aveiro e fim na Estação de Comboios, passando pela Avenida de Santa Joana, é aquele que apresenta um menor valor de consumo de energia por quilómetro, sendo este valor 7,6% inferior ao obtido para o percurso P1a que apresenta um consumo de energia de 44,2 Wh/km e 13,7% inferior ao valor registado para o percurso P3a que apresenta um consumo de energia de 46,7 Wh por cada quilómetro efetuado.

Todavia, no que diz respeito aos percursos em sentido inverso, seria de esperar que o percurso P2b fosse aquele que apresentasse um menor consumo de energia por cada quilómetro de percurso, o que não se verifica, dado que este valor depende não só do tempo associado à realização dos percursos mas também da distância que apresentam e por isso, apesar de o percurso P2b ser mais célere do que os seus homólogos, é também aquele que apresenta uma menor distância, 2,22 km, que é manifestamente inferior aos 2,77 km obtidos para o percurso P1b e 2,84 km verificados para o percurso P3b, o que indica que a distância associada a cada percurso tem elevada relevância na obtenção deste valor.

Assim, conclui-se que para o conjunto de percursos com início na Universidade de Aveiro e fim na Estação de comboios, do qual fazem parte os percursos P1a, P2a e P3a, é o percurso P3a aquele que apresenta um menor consumo de energia por km, o que reforça ainda mais a ideia de que seria o percurso mais vantajoso a ser implementado pela Câmara Municipal de Aveiro. Por outro lado, para os percursos em sentido inverso, isto é, para o conjunto de percursos com início na Estação de Comboios e fim na Universidade de Aveiro, do qual fazem parte os percursos P1b, P2b e P3b, apesar de à primeira vista poder parecer que o percurso P2b não é assim tão positivo, pelo facto de apresentar um consumo de energia por km superior ao percurso P1b, no entanto, pela consulta da Tabela 21 verifica-se que no que concerne ao consumo de energia global, o percurso P2b é aquele que apresenta um consumo de energia insofismavelmente inferior face aos seus percursos homólogos.

Tabela 24 - Energia despendida por km (Wh/km) em cada um dos percursos monitorizados na cidade do Porto pelo ciclista 1.

Percursos no Porto						
	P4a	P4b	P5a	P5b	P6a	P6b
ED/km (Wh/km)	92,70	86,68	94,50	92,31	113,18	96,92

Pela consulta da tabela 24 é possível inferir que o percurso P4b, percurso com início nos Jardins do Palácio de Cristal e término na Avenida dos Aliados, tendo passagem pelo Jardim do Carregal, é aquele que apresenta o menor valor de consumo de energia por quilómetro, 86,68 Wh/km, sendo este valor 6,5% inferior ao obtido para o percurso P5b onde se observa um valor de consumo de energia por quilómetro de 92,31 e 11,8% inferior ao registado para o percurso P6b no qual o consumo de energia por quilómetro é de 96,92.

De forma análoga ao anteriormente mencionado, para o conjunto de percursos com o sentido inverso, isto é, para o conjunto de percursos com início na Avenida dos Aliados e término nos Jardins do Palácio de Cristal, do qual fazem parte os percursos P4a, P5a e P6a, é possível verificar que é uma vez mais o percurso que tem passagem pelo Jardim do Carregal, isto é, é uma vez mais o percurso P4a que leva a melhor sobre os restantes percursos, dado que é aquele que regista um menor valor de consumo de energia por quilómetro, 92,70 Wh/km, sendo este valor cerca de 2% inferior ao obtido para o percurso P5a, percurso que tem início e fim nos mesmos locais que o percurso P4a mas que tem passagem pelo Jardim da Cordoaria e aproximadamente 22% inferior ao valor registado para o percurso P6a, percurso que tem, tal como os anteriores, início na Avenida dos Aliados e fim nos Jardins do Palácio de Cristal, mas que passa pela Igreja da Santíssima Trindade.

Assim sendo, conclui-se que para ambos os sentidos em análise, o percurso P4, percurso que tem passagem pelo Jardim do Carregal, é aquele que apresenta maior vantagem de implementação por forma a ligar a Avenida dos Aliados e os Jardins do Palácio de Cristal através de uma ciclovia, dado que é o percurso que apresenta quer um menor consumo de energia total (Wh), quer um menor consumo de energia por quilómetro de extensão.

Em seguida, com o intuito de fornecer uma análise comparativa entre a energia total média consumida nos percursos na cidade de Aveiro face aos percursos monitorizados na cidade do Porto, apresenta-se em seguida a Figura 41, onde se torna evidente o maior consumo de energia associado aos percursos realizados na cidade do Porto, sobretudo devido à complexa orografia que esta cidade apresenta face à cidade de Aveiro, que tem um carácter mais aplainado.

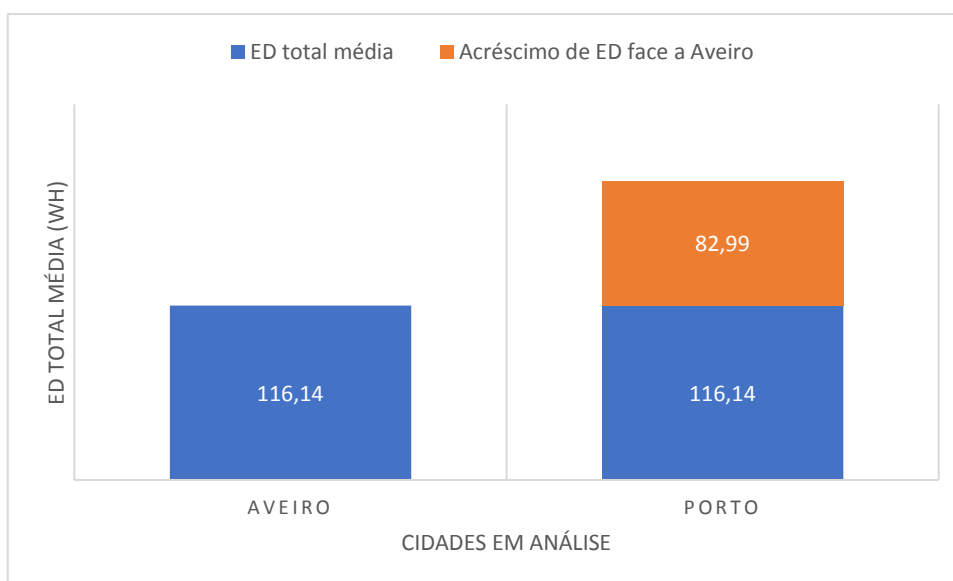


Figura 39 - Análise comparativa entre a energia total média despendida (Wh) para ambas as cidades em estudo.

Deste modo, pela consulta da Figura 41 é possível concluir que os percursos monitorizados no porto apresentam um dispêndio de energia total médio de 193,13 Wh, o que é cerca de 71% superior ao observado para os percursos em Aveiro, no qual o consumo total médio de energia se fica pelos 116 Wh, sendo que este resultado é essencialmente devido à maior complexidade dos percursos no que concerne sobretudo à existência de subidas acentuadas e pisos irregulares, fatores que dificultam em larga escala a deslocação do ciclista e que têm como consequência direta, um maior dispêndio de energia por parte deste.

Por último, de forma a determinar a energia total consumida pelo ciclista por quilómetro, efetuou-se a divisão dos valores médios que se encontram na Figura 41 pelas respetivas distâncias

médias dos percursos em ambas as cidades em estudo, obtendo-se desta forma a energia consumida por quilómetro de travessia (Wh/km). De notar que o valor da distância média para os percursos em Aveiro é de aproximadamente 2,60 km e para os percursos realizados no Porto é de cerca de 2,05 km. Assim, com o intuito de fornecer uma vez mais uma análise comparativa entre os valores de energia consumida por quilómetro para ambas as cidades em análise, apresenta-se na figura que se segue os valores médios da energia total consumida pelo ciclista por quilómetro para as cidades de Aveiro e Porto.

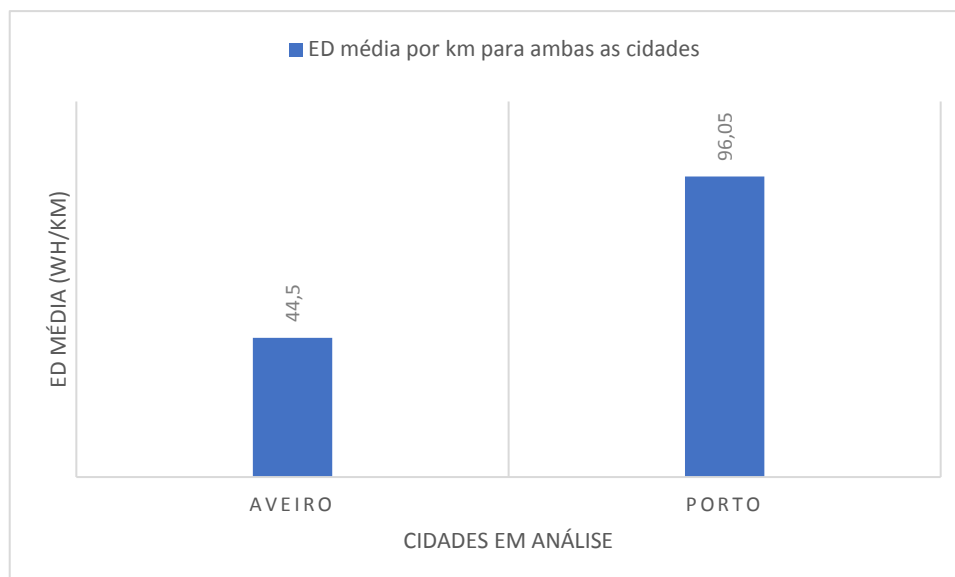


Figura 40 - Análise comparativa entre a energia total média despendida por km para ambas as cidades em análise.

Pela consulta da figura 42 é possível inferir que é a cidade do Porto que uma vez mais apresenta um consumo mais elevado de energia consumida por quilómetro, apresentando um valor de 96,05 Wh/km, resultado este que é aproximadamente 2,2 vezes superior ao obtido para os percursos monitorizados em Aveiro na qual o consumo médio de energia por quilómetro se ficou pelos 44,50 Wh/km. De notar uma vez mais que este resultado é devido essencialmente à maior complexidade dos percursos realizados na cidade do Porto face aos efetuados na cidade de Aveiro, o que tem reflexão direta nos valores de consumo de energia do ciclista.

4.3 Análise detalhada de vias com inclinação acentuada na cidade de Aveiro

Tendo como objetivo frisar os locais onde é efetivamente mais difícil ao ciclista realizar a sua deslocação na cidade de Aveiro, procedeu-se à análise minuciosa das duas subidas de maior relevo existentes na cidade, sendo elas a subida situada na Rua do Sr. dos Aflitos localizada entre o final da Avenida Congresso Oposição Democrática e a Estação de Aveiro, onde o ciclista passa no final do percurso P3a, percurso com início na Universidade de Aveiro e término na Estação de Comboios, com passagem pelo Centro de Congressos, e a subida da Rua Manuel J. Braga Alves que se encontra entre a rotunda do Centro de Congressos de Aveiro e a Escola Secundária Dr. Mário Sacramento, sendo esta subida pertencente ao percurso P3b, percurso com início na Estação de Comboios e término na Universidade de Aveiro, com passagem pelo Centro de Congressos.

Assim, com o intuito de fornecer um melhor entendimento ao leitor acerca da análise feita a estas duas partições dos percursos realizados, apresenta-se em seguida os gráficos da variação do batimento cardíaco (BC) em função da velocidade do ciclista e da altitude, sendo os dois primeiros

gráficos referentes à subida na Rua do Sr. dos Aflitos e os dois últimos correspondentes à subida da Rua Manuel J. Braga Alves.

Com efeito, para a subida da Rua Sr. dos Aflitos localizada entre o final da Avenida Congresso Oposição Democrática e a Estação de Aveiro, apresenta-se em seguida os gráficos do batimento cardíaco em função da velocidade e da altitude, respetivamente.

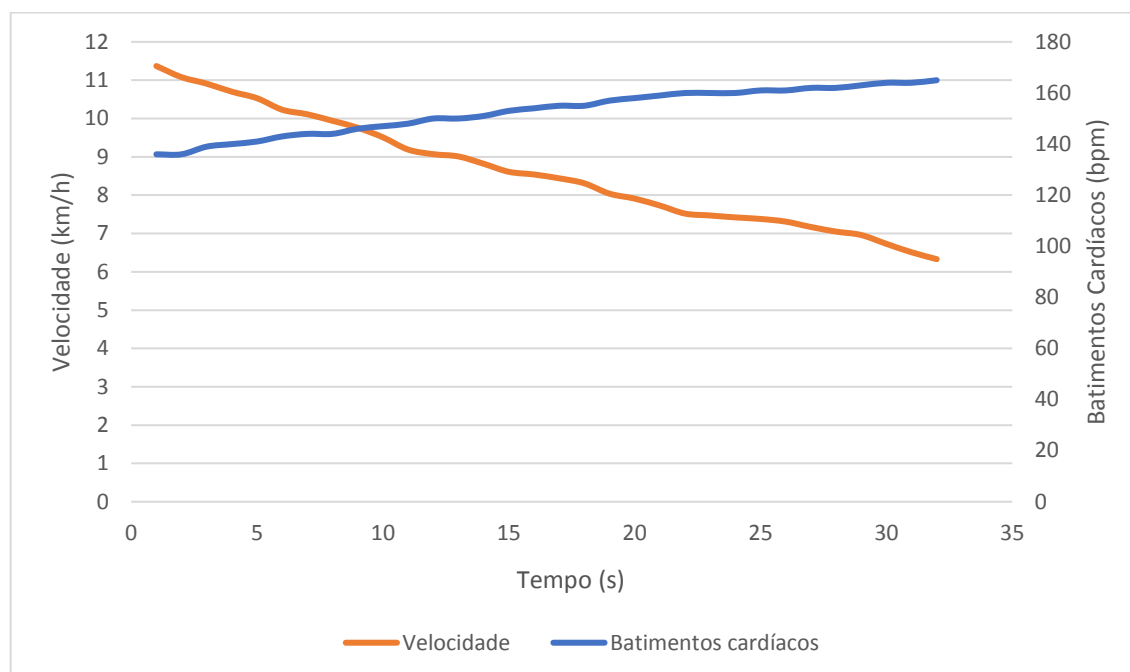


Figura 41 - Variação do batimento cardíaco com a velocidade registada pelo ciclista para a Rua Sr. dos Aflitos, situada entre a rotunda do Centro Comercial Pingo Doce e a Estação de Comboios da cidade de Aveiro.

Pela análise da Figura 43 é possível inferir que ao longo da subida, a velocidade do ciclista vai decrescendo, uma vez que este começa com um valor de velocidade de 11,4 km/h e termina a subida com um valor cerca de 1,8 vezes inferior, sendo este de 6,3 km/h. Com efeito esta diminuição progressiva da velocidade deve-se essencialmente à acentuada inclinação da via, o que requisita um nível de esforço físico muito elevado, levando deste modo o ciclista a abrandar a sua marcha, refletindo-se, por conseguinte, na sua velocidade de deslocação. No que respeita ao batimento cardíaco, verifica-se que este aumenta no decurso da subida, passando dos 136 batimentos por minuto no início da subida para os 165 batimentos por minutos no final da mesma. De notar que o taxa de batimentos cardíacos no início da subida é bastante elevada devido ao facto de a subida se localizar próxima do final do percurso onde se encontra inserida, o que faz com o que o ciclista apresente um maior cansaço, o que por conseguinte se reflete num maior número de batimentos cardíacos por minuto e numa menor predisposição para se deslocar a velocidades moderadas, o que tem como consequência numa desaceleração progressiva ao longo da subida como é possível verificar pela análise do gráfico.

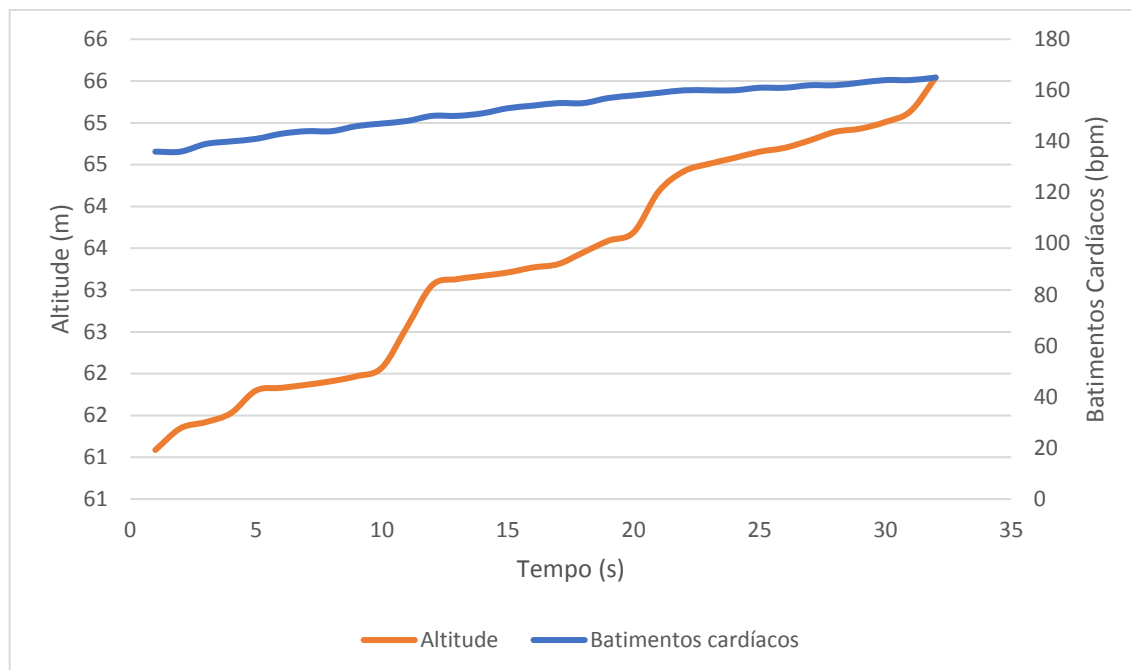


Figura 42 - Variação do batimento cardíaco com a altitude registada pelo ciclista para a Rua Sr. dos Aflitos, situada entre a rotunda do Centro Comercial Pingo Doce e a Estação de Comboios da Cidade de Aveiro.

Por observação da Figura 44 é possível verificar uma vez mais a concordância de valores entre a variação da altitude e do número de batimentos cardíacos, tal como seria de esperar, visto que sendo uma variação positiva na altitude sinónimo da existência de uma subida, tal requer ao ciclista um maior esforço físico, o que tem como consequência uma variação positiva nos batimentos cardíacos por minuto apresentados por este. Importa também referir que para a subida em questão, o consumo médio de energia registado foi de 42,57 kJ/min, valor que é cerca de 27% superior ao obtido para o percurso, onde se obtém um valor médio de consumo médio de energia de 33,54 kJ/min. Por último, verifica-se que este troço representa aproximadamente 6,6% do consumo associado ao percurso onde se encontra inserido, apresentando um valor de consumo de energia associado de 31,5 kJ, face aos 477,2 kJ consumidos durante a realização do trajeto.

De forma análoga ao processo anteriormente realizado, apresentada em seguida os gráficos do batimento cardíaco em função da velocidade e da altitude, respetivamente, para subida da Rua Manuel J. Braga Alves, localizada entre a rotunda do Centro de Congressos de Aveiro e a Escola Dr. Mário Sacramento.

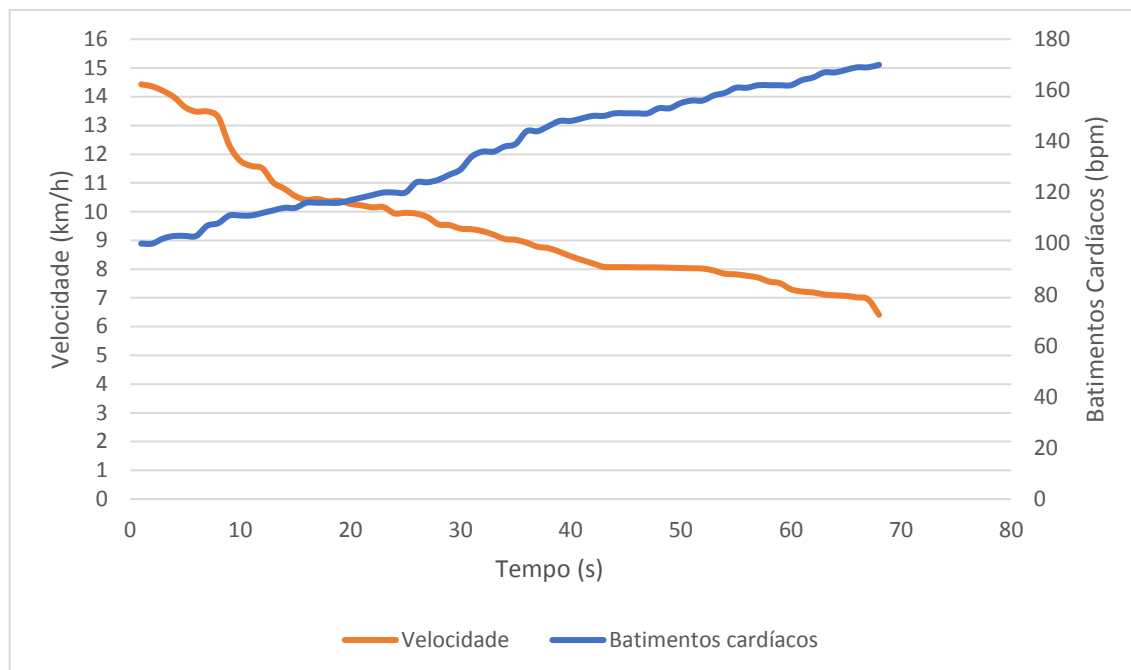


Figura 43 - Variação do batimento cardíaco com a velocidade registada pelo ciclista para a rua Manuel J. Braga Alves, situada entre a rotunda do Centro de Congressos e a Escola Dr. Mário Sacramento em Aveiro.

Pela análise da Figura 45, é possível concluir que ao longo da subida, a velocidade do ciclista vai progressivamente diminuindo, dado que este inicia a mesma com um valor de 14,4 km/h e termina com uma velocidade de 6,4 km/h, valor que é cerca de 2,3 vezes inferior à inicial. De notar que esta diminuição progressiva da velocidade é causada pela inclinação acentuada que a via apresenta, que deste modo vai requisitando um esforço físico muito elevado ao ciclista, que não consegue manter o seu ritmo e vê-se na necessidade de abrandar progressivamente a sua marcha. No que se refere à variação do batimento cardíaco, está é positiva como seria esperado, dado que um aumento do esforço físico por parte do ciclista tem consequência direta num aumento do seu batimento cardíaco. Com efeito, para o caso de estudo em análise, o ciclista inicia a subida com um registo de 100 batimentos por minuto e termina a mesma com uma taxa de 170 batimentos cardíacos por minuto, valor 1,7 vezes superior à inicial, o que corrobora uma vez mais a dificuldade encontrada para realizar a travessia em estudo.

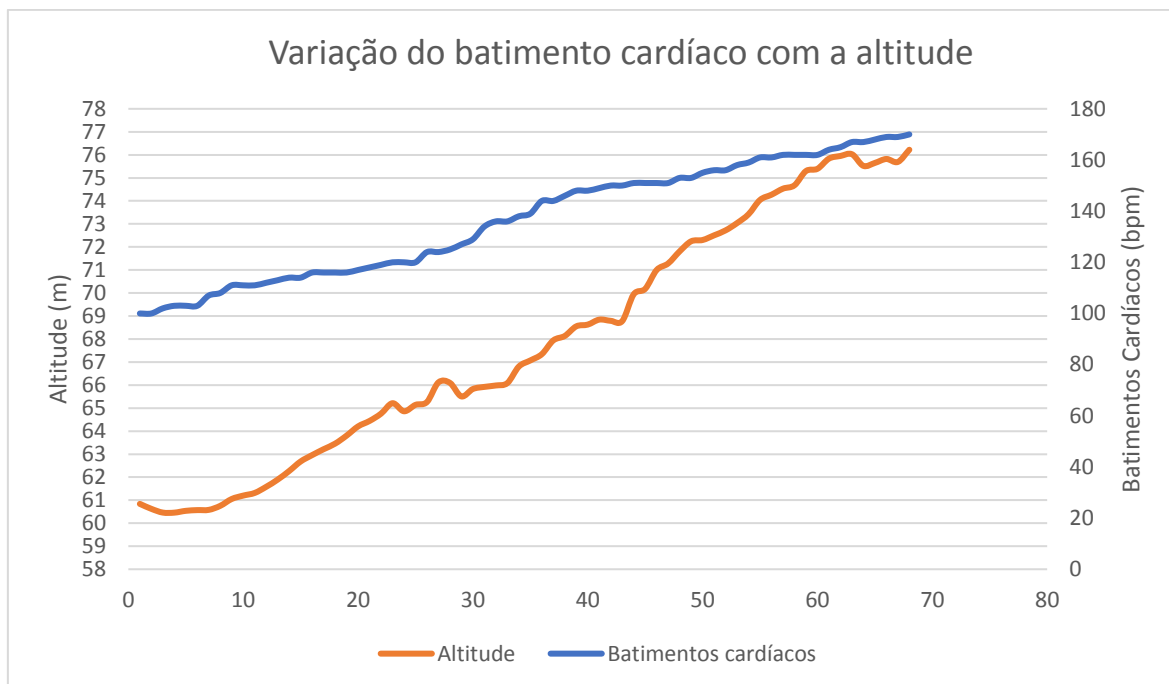


Figura 44 - Variação do batimento cardíaco com a altitude registada pelo ciclista para a rua Manuel J. Braga Alves, situada entre a rotunda do Centro de Congressos e a Escola Dr. Mário Sacramento em Aveiro.

Através da análise da Figura 46 verifica-se que existe uma variação considerável na altitude ao longo do período associado à realização da travessia, cerca de 68 segundos, passando-se de um valor inicial de cerca de 61 m para um valor de 76 m no final da mesma. Importa destacar uma vez mais a concordância de valores entre a variação da altitude e a variação da taxa de batimentos cardíacos, sendo ambas positivas, o que indica que por um lado estamos na presença de uma subida, facto corroborado pela variação positiva da altitude, e, por conseguinte, teremos um maior esforço físico associado, o que se reflete no aumento progressivo do número de batimentos cardíacos ao longo do trajeto.

Importa também referir que para o troço em questão, o consumo médio de energia registado foi de 45,31 kJ/min, valor que é aproximadamente 27% superior ao obtido para o percurso total onde este pequeno troço se encontra inserido, no qual se obtém um valor médio de 35,67 kJ/min.

Por fim, é possível constatar que este troço representa 15,1% do consumo associado ao percurso onde se encontra inserido, apresentando um valor de consumo de energia associado de 70,9 kJ, face aos 469,7 kJ representativos do consumo total de energia para o percurso onde este troço se encontra inserido.

4.4 Análise detalhada de vias com inclinação acentuada na cidade do Porto

Apresentando como objetivo dar ênfase aos locais onde é mais difícil ao ciclista se deslocar na cidade do Porto, devido à acentuada inclinação, procedeu-se à análise minuciosa de três subidas de inclinação acentuada que se encontram contidas nos percursos em estudo nesta cidade, sendo elas a subida da Rua dos Clérigos seguida da Rua de São Filipe de Nery onde se encontra situada a Igreja dos Clérigos pertencente ao percurso P5a, a subida da Rua Jorge de Viterbo Ferreira na qual se encontra situado o Instituto de Ciências Biomédicas Abel-Salazar pertencente ao percurso P5a e a subida da Rua de Camões entre a Igreja da Santíssima Trindade e o Viaduto de Gonçalo Cristóvão pertencente ao percurso P6a.

Assim, com o intuito de fornecer um melhor entendimento acerca da análise realizada a estas três partições dos percursos efetuados na cidade do Porto, apresenta-se em seguida, os gráficos da variação do batimento cardíaco em função da velocidade do ciclista e em função da altitude do local.

Com efeito, para a subida da Rua dos Clérigos e posteriormente da Rua de São Filipe de Nery onde se encontra a Igreja dos Clérigos, são apresentados em seguida os gráficos correspondentes à variação do batimento cardíaco com a velocidade e com a altitude do local, respetivamente.

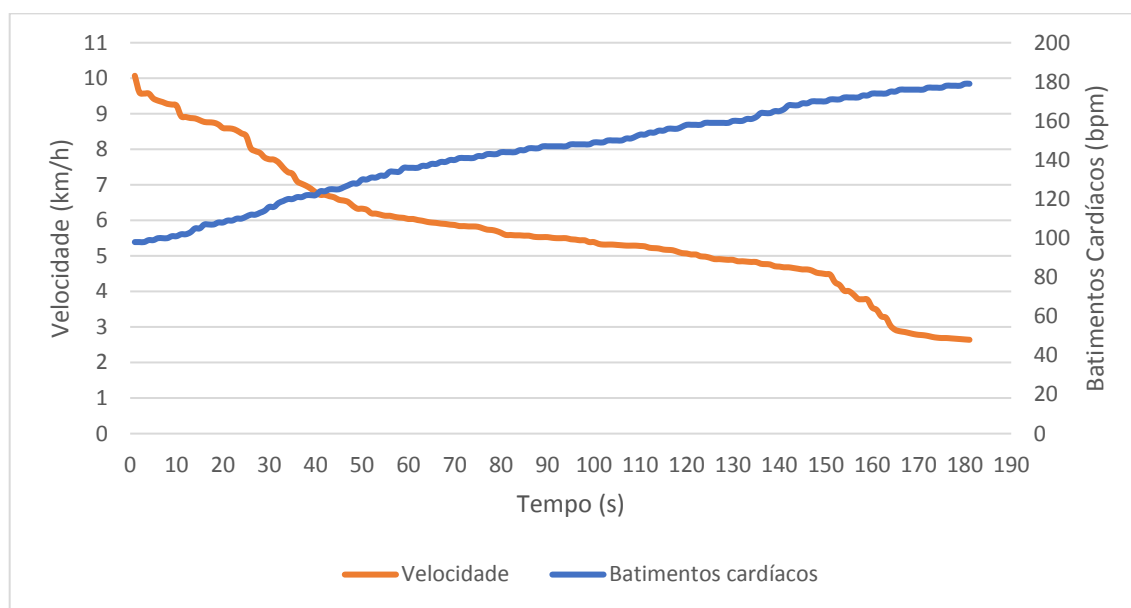


Figura 45 - Variação do batimento cardíaco com a velocidade registada pelo ciclista para a Rua dos Clérigos e posteriormente para a Rua de São Filipe de Nery onde se encontra situada a Igreja dos Clérigos na cidade do Porto.

Pela análise da Figura 47 é possível concluir que no decurso da subida a velocidade do ciclista vai diminuindo, uma vez que este, devido ao excessivo esforço físico que lhe é exigido, não consegue manter o ritmo e tem a necessidade de abrandar a sua marcha, passando de um valor de velocidade no início da subida de aproximadamente 10 km/h para um valor 3,8 vezes menor no fim desta, sendo este de 2,6 km/h. No que respeita à variação do batimento cardíaco, verifica-se que esta é positiva, isto é, que o valor do número de batimentos cardíacos vai aumentando no decorrer da subida, o que seria esperado, uma vez que uma maior exigência de esforço físico tem influência direta no aumento da taxa de batimentos cardíacos do ciclista. Para este parâmetro verifica-se um aumento muito significativo, dado que se passa de 98 batimentos cardíacos por minuto no início da subida para um valor extremamente elevado no final da mesma, sendo este de 179 batimentos cardíacos por minuto, sendo um aumento de aproximadamente 83% num intervalo de tempo de 181 segundos, o que corrobora o facto de ser uma subida que exige um elevadíssimo esforço físico.

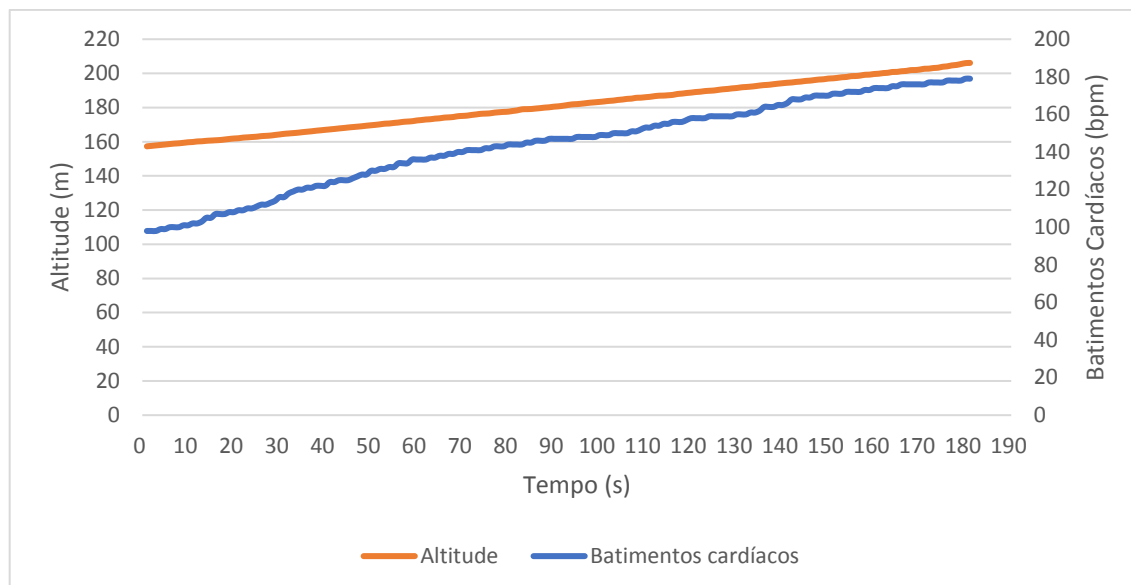


Figura 46 - Variação do batimento cardíaco com a altitude registada pelo ciclista para a Rua dos Clérigos e posteriormente para a Rua de São Filipe de Nery onde se encontra situada a Igreja dos Clérigos na cidade do Porto.

Através da análise da Figura 48 é possível concluir que existe um aumento significativo no valor da altitude no decurso do tempo, passando-se de um valor inicial de 157,3 m para um valor de 206,1 m, valor obtido no final do troço efetuado. Deste modo, é possível verificar a concordância de valores entre a variação da altitude e do número de batimentos cardíacos, tal como seria de esperar, dado que uma variação positiva na altitude, isto é, um aumento do valor da altitude é sinónimo da existência de uma subida, sendo que tal exigirá um maior esforço físico por parte do ciclista, o que terá como consequência um aumento no número dos batimentos cardíacos por minuto.

Importa destacar que para a referida subida, o consumo médio de energia registado foi de 59,35 kJ/min, valor que é 7,3% superior ao obtido para o consumo médio registado para todo o percurso, no qual se obtém um valor de 55,29 kJ/min.

Por último, verifica-se que este trajeto representa aproximadamente 18,6% do consumo total do percurso onde se encontra inserido, apresentando um valor de consumo de energia de 148,7 kJ, face aos 799,5 kJ consumidos durante a totalidade da realização do percurso onde este pequeno troço se encontra inserido.

De forma análoga ao processo anteriormente realizado, apresenta-se em seguida, os gráficos da variação do batimento cardíaco com a velocidade e com a altitude do local, respetivamente, para a subida da Rua Jorge de Viterbo Ferreira onde se situa o Instituto de Ciências Biomédicas Abel-Salazar.

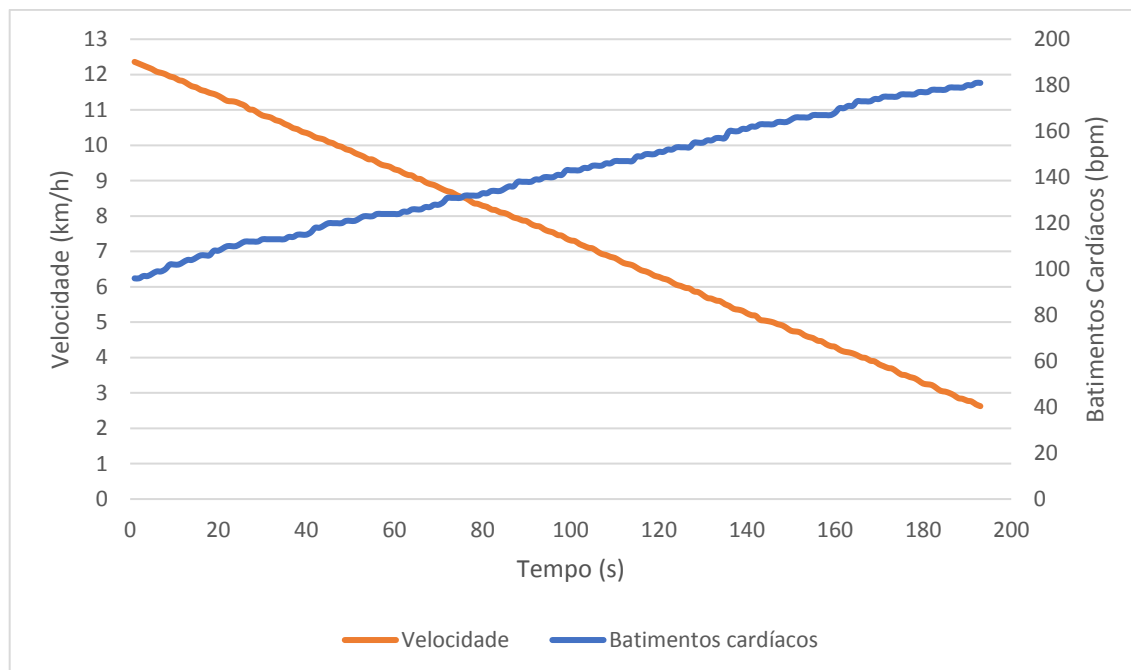


Figura 47 - Variação do batimento cardíaco com a velocidade registada pelo ciclista para a Rua Jorge de Viterbo Ferreira onde se encontra situado o Instituto de Ciências Biomédicas Abel-Salazar na cidade do Porto.

Pela análise da Figura 49 é possível concluir que no decurso da subida, a velocidade do ciclista vai diminuindo de forma contínua, uma vez que este inicia o troço com um valor de cerca de 12,4 km/h e termina o percurso com uma velocidade de 2,6 km/h, valor que é cerca de 4,7 vezes inferior aquele com o ciclista inicia a subida. Com efeito, esta diminuição progressiva da velocidade é devida sobretudo à acentuada inclinação que a via apresenta, o que requisita, por conseguinte, um esforço físico muito elevado, que não é compatível com a marcha normal do ciclista e que deste modo o leva a abrandar, tendo como consequência direta na sua velocidade de deslocação, que pode ser vista na figura. No que se refere à variação do batimento cardíaco do ciclista, é possível observar que esta aumenta no decorrer do trajeto, passando de um valor de 96 batimentos cardíacos no início do mesmo para um valor de 181 batimentos cardíacos, registando-se deste modo um aumento de aproximadamente 1,9 vezes, sendo este último valor obtido nos últimos 3 segundos correspondentes ao percurso em análise.

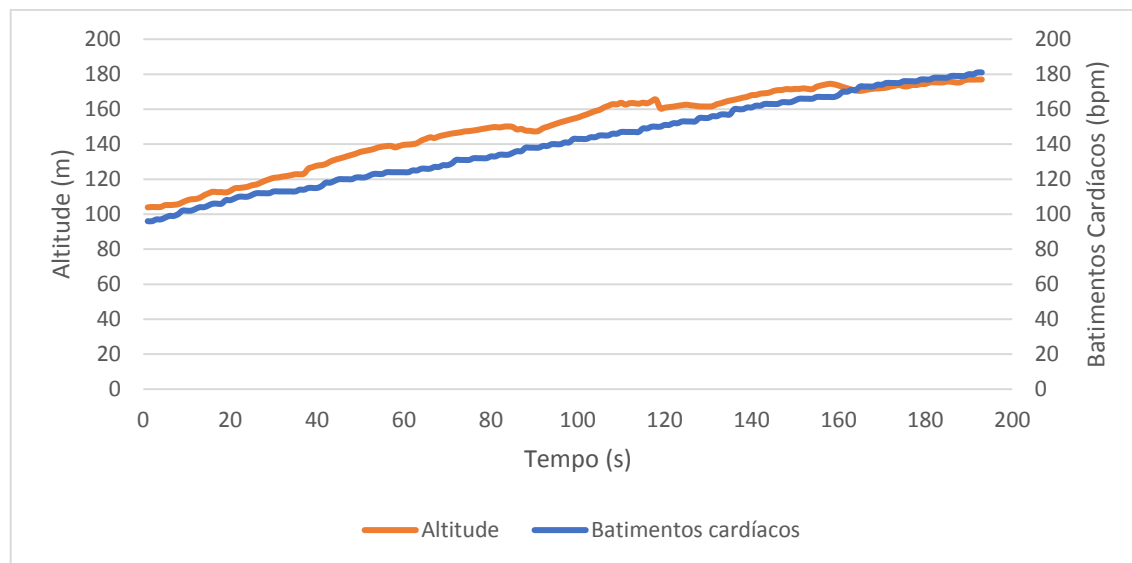


Figura 48 - Variação do batimento cardíaco com a altitude registada pelo ciclista para a Rua Jorge de Viterbo Ferreira onde se encontra situado o Instituto de Ciências Biomédicas Abel-Salazar na cidade do Porto.

Pela análise da Figura 50 conclui-se que a altitude regista uma variação significativa ao longo dos 193 segundos associados à realizada da subida localizada na Rua Jorge de Viterbo Ferreira onde se encontra localizado o Instituto de Ciências Biomédicas Abel-Salazar, passando-se de um valor inicial de 103,9 m para um valor de 177,0, valor que é obtido no final da mesma. É também possível verificar uma vez mais a concordância de valores entre a variação da altitude e a variação do número de batimentos cardíacos, tal como seria esperado, dado que uma variação positiva na altitude é sinónimo da existência de uma subida, o que tem como consequência direta um aumento do esforço requerido ao ciclista e por conseguinte uma reflexão no seu batimento cardíaco, que também irá aumentar.

Importa também mencionar que para a via em análise, o consumo médio de energia registado foi de 57,12 kJ/min, valor que é cerca de 9% superior ao obtido para o percurso onde esta via se encontra inserida, no qual se obtém um valor de consumo médio de 52,40 kJ/min.

Por fim, observa-se que esta via representa aproximadamente 19,7% do consumo total associado ao percurso onde se encontra inserida, apresentado um valor de consumo de energia associado de 157,5 kJ, face aos 799,5 kJ consumidos durante todo o trajeto.

De forma análoga ao processo anteriormente realizado, apresenta-se em seguida os gráficos do batimento cardíaco em função da velocidade e da altitude, respetivamente, para a subida presente na Rua de Camões entre a Igreja da Santíssima Trindade e o Viaduto de Gonçalo Cristóvão.

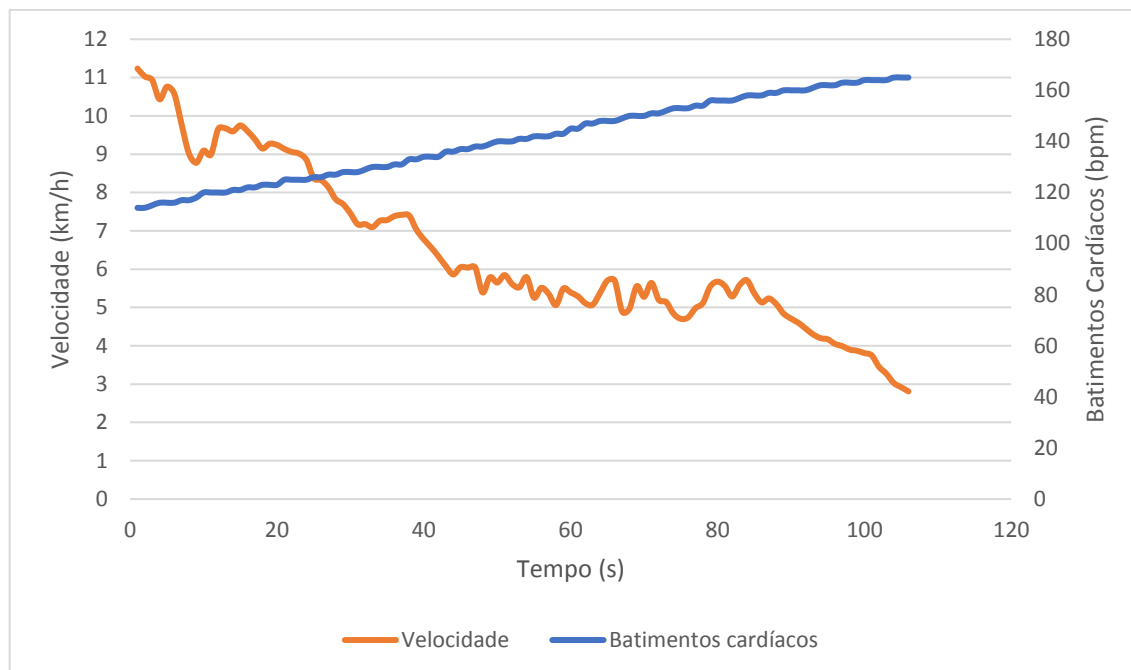


Figura 49 - Variação do batimento cardíaco com a velocidade registada pelo ciclista para a Rua de Camões situada entre a Igreja da Santíssima Trindade e o Viaduto de Gonçalo Cristóvão na cidade do Porto.

Pela análise da Figura 51 é possível inferir que ao longo da subida a velocidade vai diminuindo, passando de um valor inicial de 11,2 km/h para um valor cerca de 4 vezes inferior no final da mesma, sendo este de 2,8 km/h. Com efeito, esta diminuição progressiva da velocidade é devida essencialmente à acentuada inclinação que a via apresenta, o que requisita um excessivo nível de esforço físico que não é suportado pelo ciclista e que deste modo o faz abrandar a sua marcha, refletindo-se, por conseguinte, na sua velocidade de deslocação. No que concerne à variação do batimento cardíaco, verifica-se que este aumenta no decurso da subida, passando de um valor de 114 batimentos cardíacos para um valor de 165 batimentos cardíacos, isto é, registando-se, desta forma, um aumento percentual de aproximadamente 45%. De notar que o valor inicial observado para os batimentos cardíacos é elevado, devido ao facto de o ciclista até ao local de início da travessia em análise já ter percorrido toda a subida correspondente à Avenida dos Aliados, o que desencadeou um aumento na sua taxa cardíaca e que se refletiu, desde modo, na taxa inicial de batimentos cardíacos da travessia em estudo.

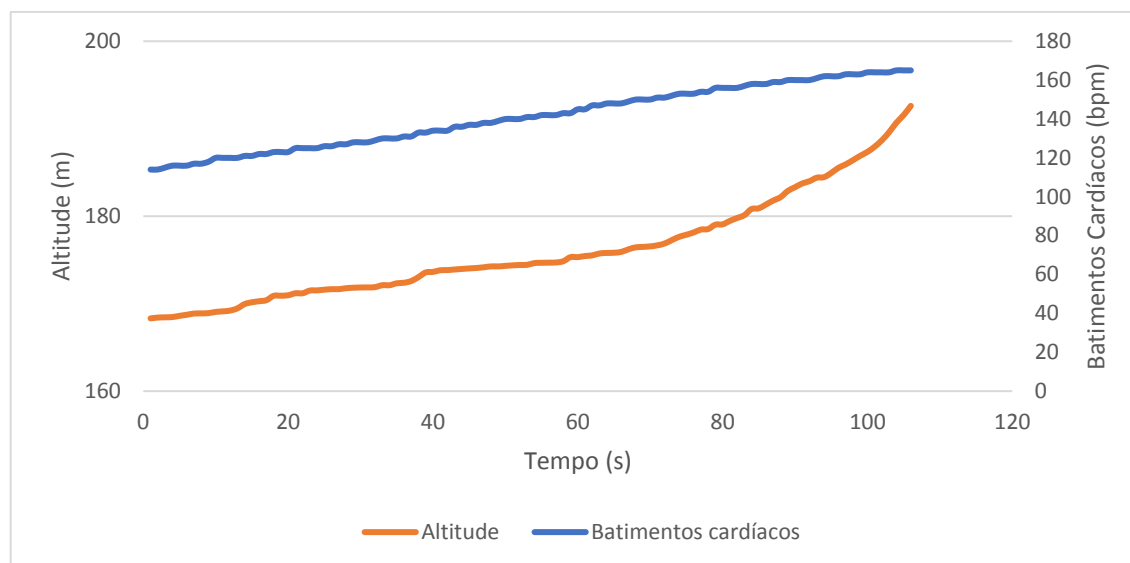


Figura 50 - Variação do batimento cardíaco com a altitude registada pelo ciclista para a Rua de Camões situada entre a Igreja da Santíssima Trindade e o Viaduto de Gonçalo Cristóvão na cidade do Porto.

Por observação da Figura 52 é possível concluir que existe uma variação significativa para o valor da altitude, passando-se de um valor inicial de 168,3 m para um valor final cerca de 15% superior, sendo este de 192,6 m. É também possível verificar uma vez mais a concordância de valores existente entre a variação positiva da altitude e o aumento do número de batimentos cardíacos, tal como seria expectável, dado que uma variação positiva na altitude é sinónimo da existência de uma subida, sendo que tal requer ao ciclista um maior esforço físico, o que terá por consequência um aumento do seu batimento cardíaco, tal como é demonstrado na figura.

Importa também referir que para a subida em questão, o consumo médio de energia registado foi de 68,38 kJ/min, valor que é cerca de 17% superior ao obtido para a média do percurso total onde este troço se encontra inserido, no qual se obtém um valor de consumo médio de energia de 58,52 kJ/min.

Por último, verifica-se que esta travessia representa aproximadamente 12,5% do consumo associado ao percurso onde esta se encontra inserida, apresentado um valor de consumo de 126,3 kJ, face aos 1010,5 kJ consumidos durante a realização total do percurso que faz a ligação entre a Avenida dos Aliados e os Jardins do Palácio de Cristal, passando pela Igreja da Santíssima Trindade.

4.5 Análise de conflitos entre ciclistas e automobilistas

A análise de conflitos entre ciclistas e automobilistas é um aspeto primordial para quem utiliza a bicicleta como meio de transporte. Considerou-se como fator determinante neste estudo o número de ultrapassagens que os vários ciclistas sofreram ao longo da realização de cada um dos seus percursos em análise. Desta forma, verificou-se, que na cidade do Porto, o número de ultrapassagens feitas por automobilistas durante o decurso dos percursos é aproximadamente 2,5 vezes superior ao que se verifica para a cidade de Aveiro. Para além do número de ultrapassagens, foi possível observar que a distância que se verifica entre o automóvel e o ciclista é largamente inferior para a cidade do Porto quando comparado com a cidade de Aveiro, o que coloca muitas vezes em causa a integridade física do ciclista.

Assim, com o intuito de fornecer um melhor entendimento ao leitor, apresenta-se na Tabela 25, o consumo médio de energia obtido para os pares origem-destino em análise nas duas cidades,

bem como o número de conflitos/ultrapassagens que o ciclista é sujeito no decorrer de cada rota em estudo.

Tabela 25 - Energia consumida e número de ultrapassagens para cada par OD em estudo.

Aveiro – Pares OD	Energia consumida (Wh)	Número de ultrapassagens	Porto – Pares OD	Energia consumida (Wh)	Número de ultrapassagens
P1	122,64	132	P4	171,89	305
P2	94,30	125	P5	185,82	290
P3	131,52	55	P6	239,74	120

Pela análise da Tabela 25 é possível concluir que as rotas onde se verifica maior gasto energético são também aquelas onde o número de conflitos registado é menor. Assim, isso sugere que, embora essas rotas requeiram um esforço físico maior ao ciclista, aproximadamente 40% maior em ambas as cidades em comparação com as rotas onde há menor consumo de energia, essas opções são também aqueles em que a segurança do ciclista é aproximadamente 2,5 vezes superior, sendo este um fator especialmente relevante para a cidade do Porto, na qual existe uma permanente densidade de tráfego elevada, verificando-se também para esta, que as ultrapassagens são feitas muito junto do ciclista, colocando muitas vezes em causa, a sua integridade física.

Assim, no que concerne à cidade de Aveiro, é possível retirar que o par origem-destino mais seguro à prática do ciclismo corresponde ao percurso P3, percurso que tem passagem pelo Centro de Congressos, pois visto que este é realizado numa zona maioritariamente afastada do centro da cidade de Aveiro, é por conseguinte, um percurso com uma densidade de tráfego muito diminuto, permitindo deste modo, fornecer ao ciclista uma maior segurança para realizar as suas deslocações. Contudo, este percurso só será efetivamente útil para os casos em que o fator inibitivo da prática do ciclismo esteja unicamente relacionado com o nível de segurança da via, dado que este é o percurso que requer o maior esforço energético ao ciclista.

Para a cidade do Porto, observa-se que o percurso mais seguro para a prática do ciclismo, é o percurso P6, percurso que tem passagem pela Igreja da Santíssima Trindade, pois apresenta uma densidade de tráfego muito inferior aos restantes, porém, de notar, que este percurso apresenta do mesmo modo um consumo energético muito superior, cerca de 240 Wh, sendo aproximadamente 29% superior ao registado para o percurso P5 e cerca de 39% superior ao obtido para o percurso P4, pelo que, só será útil a sua utilização no caso de pessoas cujo único fator inibitivo da prática de ciclismo esteja relacionado com o nível de segurança apresentado.

5. Conclusões do trabalho realizado e orientações pertinentes para um trabalho futuro

5.1 Conclusões do trabalho realizado

De forma a atingir o objetivo primordial deste trabalho foram monitorizadas duas cidades, a cidade de Aveiro e do Porto, nas quais foram escolhidas três rotas com extensões semelhantes que permitissem a ligação entre a Estação de Comboios e a Universidade de Aveiro e a Avenida dos Aliados e os Jardins do Palácio de Cristal, para as cidades de Aveiro e do Porto, respetivamente. Esta monitorização foi efetuada ao longo de 177,7 km, dos quais 140,7 km foram efetuados na cidade de Aveiro e 37 km na cidade do Porto. Para a cidade de Aveiro esta monitorização decorreu ao longo de aproximadamente 8,7 horas e para o Porto durante cerca de 4,7 horas, perfazendo um período total de monitorização de 13,4 horas. Com os dados recolhidos, foi utilizada uma metodologia desenvolvida pelo Instituto Superior Técnico com o objetivo de quantificar o valor de potência requerida a cada instante da realização de uma travessia. A metodologia enunciada anteriormente designa-se por BSP que advém do inglês *Bicycle Specific Power*. Esta metodologia quantifica a valor da potência por unidade de massa que é efetivamente necessária a cada instante de uma viagem por um utilizador de bicicleta em estrada, tendo por base a dinâmica (a velocidade e aceleração do mesmo), carácter topográfico da via, bem como resistências de rolamento e aerodinâmica relacionadas.

A metodologia BSP foi dividida em 11 modos de forma a facilitar a interpretação dos dados, sendo que os modos positivos são representativos dos momentos de viagem onde é requerido esforço físico ao ciclista, o modo 0 de BSP é representativo de situações de paragem e os modos negativos de BSP representam situações de travagem e ou de desaceleração desencadeadas pelo ciclista no decurso da sua viagem. Os modos positivos de BSP correspondem a 71% do tempo total de viagem para a cidade de Aveiro e a 74,5% para a cidade do Porto, sendo que 55,4% dos 71% apresentados para a cidade de Aveiro e 51,3% dos 74,5% para a cidade do Porto, é despendido nos modos de BSP 1 e 2, sendo estes representativos de potências de valor inferior a 160 W, isto é, moderado esforço físico por parte do ciclista. No que concerne ao modo 0 de BSP, verifica-se que a cidade de Aveiro apresenta uma representatividade deste modo de cerca de 5% e para o Porto é acrescido de 7 décimas percentuais, perfazendo deste modo, um total de 5,7%, sendo que este modo coincide com situações onde o ciclista se encontra parado. Por último, no que respeita aos modos negativos de BSP, estes apresentam uma representatividade de aproximadamente 24% para a cidade de Aveiro e 19,7% para a cidade do Porto, sendo estes modos representativos de situações de travagem ou desaceleração.

No que respeita à velocidade atingida pelo ciclista, foi feito um estudo para ambas as cidades em análise para três tipos de situações, vias com inclinação negativa ou descidas, vias com inclinação nula, sendo estas sinónimo de ruas planas e vias com inclinação positiva ou subidas. Daqui se retirou que a velocidade média do ciclista registada em condições de inclinação negativa ou descida para a cidade de Aveiro foi de 13,3 km/h, valor que é cerca de 19% ao registado para a cidade do Porto, na qual se registou um valor de 15,9 km/h. No que se refere à velocidade média do ciclista atingida em vias planas, verifica-se que o valor obtido para a cidade de Aveiro, 12 km/h é sensivelmente 2% superior ao obtido para a cidade do Porto, onde se regista um valor muito similar de 11,8 km/h. Por último, no que concerne à velocidade média atingida em vias com inclinação positiva, isto é, em condições de subida, verifica-se que o valor obtido para a cidade de Aveiro, 8,6 km/h é aproximadamente 15% superior ao registado nas mesmas condições para a cidade do Porto, na qual se regista um valor de 7,5 km/h.

Utilizando os dados recolhidos com o Vital Jacket e efetuando o cruzamento com os modos BSP escolhidos para este estudo, fez-se a análise da forma como variava o batimento cardíaco do ciclista em função de cada modo BSP. Assim, verificou-se que para os modos negativos de BSP, $\left(\frac{\Delta BC}{\Delta t}\right)$ ia diminuindo de forma cada vez menos significativa à medida que se passava de modos

negativos elevados de BSP para modos negativos mais baixos, o que indica por conseguinte, que em modos negativos sucessivamente mais baixos de BSP, as condições vão-se tornando sucessivamente menos favoráveis ao ciclismo, o que vai permitindo cada vez de forma menos acentuada ao ciclista baixar o seu ritmo cardíaco. Para o modo 0 de BSP, que corresponde a situações em que o ciclista se encontra parado, verifica-se uma vez mais que esta é uma situação que permite, tal como os modos negativos, baixar o ritmo cardíaco do ciclista, pelo que, também neste caso, o valor de $(\frac{\Delta BC}{\Delta t})$ é negativo. Por fim, no que respeita aos modos positivos de BSP, o valor do batimento cardíaco do ciclista aumenta à medida que o modo de BSP positivo aumenta, uma vez que, o aumento do modo de BSP é sinónimo de um aumento no esforço físico requerido ao ciclista, o que tem consequência direta no aumento do seu batimento cardíaco. Tal facto é evidenciado neste estudo, onde é possível observar que para os modos positivos de BSP, o valor de $(\frac{\Delta BC}{\Delta t})$ é sempre positivo e de forma progressiva de modo para modo. Verificou-se ainda que na cidade de Aveiro o batimento no final da viagem é cerca de 1,3 vezes superior ao valor inicial e na cidade do Porto aproximadamente 2,1 vezes superior.

O consumo de energia para os percursos realizados em ambas as cidades em análise foram também alvo de estudo, uma vez que já seria expectável uma discrepância de valores relativamente acentuada. Assim, verificou-se que para a cidade de Aveiro, o percurso mais favorável do ponto de vista energético é o percurso P2, uma vez que este apresenta um consumo médio de energia de 94,3 Wh, valor que é 30% inferior ao obtido para o percurso P1 e cerca de 40% inferior ao obtido para o percurso P3. No que respeita aos percursos realizados na cidade do Porto, verifica-se que é o percurso P4 aquele que apresenta um menor valor de consumo energético, sendo este de aproximadamente 172 Wh, valor que é cerca de 8% inferior ao obtido para o percurso P5, e aproximadamente 40% inferior ao registado para o percurso P6. No que respeita ao consumo de energia, procedeu-se ainda à divisão do valor de energia consumida obtido para cada percurso em estudo pela extensão dos mesmos, por forma a se obter o consumo de energia por km realizado. Desta forma, verificou-se que para a cidade de Aveiro, o percurso P2 é aquele que apresenta um menor valor de energia consumida por km, sendo este de aproximadamente 43 Wh/km, valor que é 3,5% inferior ao obtido para o percurso P1 e cerca de 8% inferior ao obtido para o percurso P3. Já para a cidade do Porto, verificou-se uma vez mais que o percurso P4 é o mais favorável do ponto de vista energético, no qual se registou um valor de aproximadamente 90 Wh/km, sendo este valor cerca de 4% inferior ao obtido para o percurso P5 e aproximadamente 17% inferior ao obtido para o percurso P6. Assim, verificou-se que os percursos no Porto apresentam um consumo de energia por quilómetro cerca de 2,2 vezes superior ao obtido para os percursos em Aveiro.

Em seguida, foi realizada uma análise minuciosa de cinco subidas contidas nos percursos em análise, estando duas delas presentes na cidade de Aveiro e as restantes na cidade do Porto. Na cidade de Aveiro, as subidas estão presentes no percurso P3a, subida situada na Rua Sr. dos Aflitos, entre a rotunda do Centro Comercial Pingo Doce e a Estação de Comboios e P3b, subida localizada na Rua Manuel J. Braga Alves, entre a rotunda do Centro de Congressos e a Escola Dr. Mário Sacramento. Para as vias mencionadas anteriormente, foi feita uma análise da forma como variava o batimento cardíaco com a velocidade e com a altitude. Para a subida da Rua Sr. dos Aflitos verificou-se que no decurso da subida ocorre uma diminuição do valor de velocidade de 1,8 vezes, passando-se de um valor inicial de 11,4 km/h para um valor de 6,3 km/h e um aumento de 29 batimentos cardíacos, passando-se de 136 para 165 batimentos cardíacos. Também o valor de altitude sofreu uma variação positiva de 4,5 m, tendo-se passado de 61,1 m para 65,6m. No que respeita ao consumo médio de energia, este foi de 42,57 kJ/min, valor que é 27% superior ao obtido para o consumo de energia médio do percurso onde este troço. Por último, verifica-se que este troço representa cerca de 6,6% do consumo associado ao percurso. Para a subida presente na Rua Manuel J. Braga Alves verificou-se um decréscimo de velocidade de 2,3 vezes, passando-se de um valor inicial de 14,4 km/h para 6,4 km/h. Por oposição, foi possível constatar um aumento de 70 batimentos cardíacos durante a realização desta subida, tendo-se passado de um valor inicial de

100 batimentos cardíacos para um valor de 170 batimentos cardíacos. A Altitude foi também alvo de uma variação positiva, passando de 60,8 m iniciais para um valor de 76,2 m. Importa ainda referir que o consumo médio neste troço foi de 45,3 kJ/min, valor que é aproximadamente 27% superior ao obtido para o percurso. Por fim, esta via representa 15,1% do consumo associado ao percurso.

Para a cidade do Porto foram analisadas três subidas, sendo elas a subida da Rua dos Clérigos seguida da Rua de São Filipe de Nery onde se encontra situada a Igreja dos Clérigos pertencente ao percurso P5a, a subida da Rua Jorge de Viterbo Ferreira na qual se encontra situado o Instituto de Ciências Biomédicas Abel-Salazar pertencente ao percurso P5a e a subida da Rua de Camões entre a Igreja da Santíssima Trindade e o Viaduto de Gonçalo Cristóvão pertencente ao percurso P6a. Para a subida da Rua dos Clérigos e posteriormente da Rua de São Filipe de Nery verificou-se uma redução no valor de velocidade de 3,8 vezes, passando-se de 10 km/h para 2,6 km/h, valor obtido no final deste troço. Por oposição, para a taxa de batimentos cardíacos verificou-se um aumento de aproximadamente 83% face ao valor inicial, tendo-se passado de 98 batimentos cardíacos para 179 batimentos cardíacos. A altitude sofreu uma variação positiva, passando de 157,3 m para 206,1 m, valor obtido no final deste troço. Verificou-se ainda que o valor do consumo médio de energia registado neste troço foi de 59,4 kJ/min, valor este que é 7,3% superior ao obtido para o consumo médio registado para o percurso. Por último, verifica-se que este trajeto representa aproximadamente 18,6% do consumo total associado ao percurso. Para a subida da Rua Jorge de Viterbo Ferreira onde se situa o Instituto de Ciências Biomédicas Abel-Salazar, verificou-se uma diminuição no valor da velocidade de aproximadamente 4,7 vezes, tendo-se passado de um valor inicial de 12,4 km/h para 2,6 km/h. No que diz respeito ao batimento cardíaco do ciclista, este aumento cerca de 1,9 vezes, tendo passado de um valor inicial de 96 batimentos cardíacos para um valor de 181 batimentos cardíacos. A altitude passou de um valor inicial de 103,9m para 177,0 m. Importa ainda referir que o consumo médio de energia registado para este troço foi de 57,1 kJ/min, valor que é aproximadamente 9% superior ao obtido para o percurso. Por último, observa-se que esta via representa cerca de 19,7% do consumo total associado ao percurso. Por fim, para a subida presente na Rua de Camões entre a Igreja da Santíssima Trindade e o Viaduto de Gonçalo Cristóvão, verificou-se uma diminuição no valor de velocidade de cerca de 4 vezes, tendo-se passado de um valor inicial de 11,2 km/h para 2,8 km/h. No que respeita ao batimento cardíaco, este registou um aumento percentual na ordem dos 45%, tendo passado de 114 para 165 batimentos cardíacos. De notar que a altitude aumento 15%, passando de 168,3 m para 192,6 m. Verificou-se ainda que o consumo médio de energia registado para este troço foi de 68,4 kJ/min, o que é cerca de 17% superior ao obtido para o percurso. Por fim, é possível observar que esta travessia representa cerca de 12,5% do consumo associado ao percurso.

Por último, realizou-se uma análise de conflitos entre ciclistas e automobilistas, na qual foi considerada como variável o número de ultrapassagens que o ciclista era alvo no decurso da realização dos seus percursos em ambas as cidades em análise. Em Aveiro o percurso P3 é aquele no qual o ciclista era alvo de um menor número de ultrapassagens, onde este era ultrapassado em média 55 vezes, valor cerca de 2,3 vezes inferior ao obtido para o percurso P2 e 2,4 vezes inferior ao obtido para o percurso P1. Para a cidade do Porto, o percurso no qual existia um menor número de situações entre ciclista e automobilista era o percurso P6, no qual se registou um valor médio de ultrapassagens de 120, sendo este valor cerca de 2,4 vezes inferior ao obtido para o percurso P5, e aproximadamente 2,6 vezes inferior face ao percurso P4.

5.2 Orientações para trabalhos futuros

Para desenvolvimentos futuros, existe uma variedade de fatores que contribuirão para o enriquecimento desta dissertação. Um dos aspetos relevantes a ter em linha de conta no futuro prende-se com a introdução de bicicletas elétricas nas monitorizações dos percursos tendo por vista

a poupança em termos energéticos que advém da sua utilização, nomeadamente no Porto, em que seria uma mais valia a utilização de uma bicicleta elétrica devido à orografia da cidade.

A monitorização de um número alargado de trajetos em ambas as cidades em estudo revelar-se-ia uma mais-valia, uma vez que forneceria um nível de informação muito superior aos utilizadores de bicicleta, alargando deste modo o seu leque de escolhas. A monitorização de um maior número de percursos contribuiria também para a aferição com maior assertividade dos fatores que influenciam a escolha dos utilizadores da bicicleta aquando da escolha de rotas, permitindo desta forma obter uma maior amostra dos critérios que se encontram subjacentes a essa escolha. Finalmente, a monitorização de diferentes utilizadores (em termos de género e idade) também seria uma mais-valia, pois permitiria solidificar os resultados aqui presentes, através de mais representatividade em todos os modos de BSP considerados.

Seria também enriquecedor analisar sistemas de adaptação de bicicletas convencionais a elétricas e realizar a comparação com bicicletas puramente elétricas de origem e com as convencionais no que respeita essencialmente às variações de consumo energético e tempo necessário para a realização das travessias.

A utilização de um sensor dedicado inserido na roda com o intuito de medir a velocidade registada pelo ciclista a cada instante com o objetivo de complementar os valores de velocidade obtidos através do equipamento GNSS, terá insofismavelmente interesse na medida em que permitirá comparar os dados provenientes de fontes diferentes e desta forma aferir resultados com maior precisão, pelo que deverá ser o próximo equipamento a juntar-se ao conjunto de equipamentos utilizados durante as monitorizações dos percursos.

Além disso, a utilização de quatros sensores de distância colocados respetivamente no lado esquerdo da bicicleta, lado direito, frente e trás com o intuito de aferir com maior precisão a distância a que são realizadas as ultrapassagens ao ciclista, nomeadamente na cidade do Porto devido à maior densidade de tráfego.

Importa ainda referir que deverá ser feito um estudo mais aprofundado no que respeita aos sinais fisiológicos obtidos durante as monitorizações efetuadas, em especial no que concerne ao valor obtido para a estimativa da energia humana. Por sua vez, deverá proceder-se à efetivação do estudo conjunto da frequência cardíaca com a frequência respiratória para a obtenção da estimativa da energia humana. Poderão e deverão ser testadas novas implementações de modos de monitorização a fim de estimar com maior nível de rigor a energia humana despendida durante a realização das travessias.

Por último, os dados obtidos durante as monitorizações experimentais poderão ser inseridos numa plataforma GIS com o intuito de promover tomadas de decisão mais inteligentes por parte dos utilizadores de bicicleta. Os dados presentes na plataforma GIS deverão possuir ligação com uma aplicação intuitiva e acessível para todos os cidadãos, por forma a estes terem acesso a esses dados e com eles tomarem as decisões que acharem mais vantajosas para as suas deslocações no seu quotidiano.

Referências Bibliográficas

- AASHTO. (1999). *Guide for the development of bicycle facilities*. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Ainslie, P., Reilly, T., Westertep, K. (2003). *Estimating Human Energy Expenditure, A Review of Techniques with Particular Reference to Doubly Labelled Water*. s.l. : Sports Med, pp 683-698, 2003.
- Akar, G., Clifton, K. (2009). *Influence of individual perceptions and bicycle infrastructure on decision to bike*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2140, 165-172.
- Arcadis. (2017). Sustainable Cities Mobility Index. Acedido em: 11, Abril, 2018, em: <https://www.arcadis.com/en/global/our-perspectives/sustainable-cities-mobility-index-2017/>.
- Aultman-Hall, L., Hall, F. L., Baetz, B. B. (1997). Analysis of bicycle commuter routes using geographic information systems: implication for bicycle planning. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1578(1), 102-110.
- Barclays Cycle Hire. (2012). *Barclays Cycle Hire – Bikeshearing in London*.
- Baptista, P. (2013). *Chapter 11: On-road monitoring of electric bicycles and its use in bike-sharing systems, Grid Electrified Vehicles: Performance, Design, and Environmental Impacts*. s.l.: Nova Science Publishers.
- Baptista, P., Duarte, G., Mendes, M., Rolim, C., Farias, T. (2013). *Scenarios for eletric bike use: from on-road monitoring to possible impacts of large introduction*. São Miguel Island, Azores (Portugal): NECTAR Conference on Dynamics of Global and Local Networks.
- Baptista, P., Silva, C., Farias, T. (2012). Energy and environmental impacts of alternative pathways for the portuguese road transportation sector. s.l.: Journal of Energy Policy, 51, pp. 802-815.
- Broach, J., Gliebe, J., Dill, J., 2011. "Bicycle route choice model developed using revealed preference GPS data." Presented at the 90th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Buehler, R., Pucher, J. (2012). *Walking and Cycling in Western Europe and the United States – Trends, Policies and Lessons*. s.l.: TR News May-June 2012: Transportation: Implementing the Benefits.
- Business Insider, 2018. *The number of bike-sharing programs worlwide had doubled since 2014 – And the number of public bikes has increased almost 20-fold*. Disponível em:<<http://www.businessinsider.com/bike-sharing-programs-doubled-since-2014-public-bike-charts-2018-7/>> Acesso em 19 de Maio de 2019.
- Callabike. (2012). *Callabike bike sharing system*.
- Cap'Vélo. (2012). *Se déplacer à vélo en Grand Poitiers – Bikeshearing scheme in Saint-Etienne*.
- Carse, A., Goodman, A., Mackett, R., Panter, J. & Ogilvie, D. (2012). The factors influencing car use in a cycle-friendly city: the case of Cambridge.
- Caulfield, B., Brick, E., & McCarthy, O. T. (2012). *Determining bicycle infrastructure preferences - A case study of Dublin*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 17(5), 413-417.
- CE. (2001). *Livro Branco – A Política Europeia de Transportes no Horizonte 2010: a Hora das Opções* (p. 128). Luxemburgo: Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias.
- CE. (2006). *Livro Branco – Manter a Europa em Movimento – Mobilidade Sustentável para o nosso continente*. Bruxelas.
- CE. (2007). *Livro Verde: Por uma nova cultura de mobilidade urbana*. Bruxelas.
- CE. (2009). *Um futuro sustentável para os transportes: rumo a um sistema integrado, baseado na tecnologia e de fácil utilização*. Bruxelas: Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias.

- CE. (2017a). *Road accident fatalities – statistics by type of vehicle*. Comissão Europeia. Consultado a 24 de Maio de 2018 e disponível em: <http://ec.europa.eu/>.
- CE. (2017b). *Communication from the commission to the european parliament, the european council, the council, the european economic and social committee, the committee of the regions and the european investment bank*. Brussels. Comissão Europeia. Consultado a 20 de Maio de 2019 e disponível em: <http://ec.europa.eu/clima/>.
- CE. (2017c). *Urban Mobility*. Comissão Europeia. Consultado a 21 de Maio de 2019 e disponível em: http://ec.europa.eu/transport/themes/urban/urban_mobility_en.
- CE. (2017d). *A European Strategy for low-emission mobility*. Comissão Europeia. Consultado a 22 de Maio de 2019 e disponível em: https://ec.europa.eu/clima/policies/transport_en.
- CE. (2018). *A clean planet for all – A european strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy*. Brussels. Comissão Europeia. Consultado a 20 de Maio de 2019 e disponível em: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en/.
- CEAP. (s.d.). Contributos para o Regulamento de Percursos Cicláveis em Portugal. Instituto Superior de Agronomia.
- Chen, C. F., & Chen, P. C. (2013). *Estimating recreational cyclists' preferences for bicycle routes - Evidence from Taiwan*. *Transport Policy*, 26, 23-30.
- Chorus, C. G., & Timmermans, H. J. P. (2010). Determinants of Stated and Revealed Mental Map Quality: An Empirical Study. *Journal of Urban Design*, 15(2), 211-226.
- Ciclaveiro. (2017). Parecer do Ciclaveiro sobre a operação “Criação de Rede Ciclável” do PEDUCA e o trajeto ciclável entre a Estação de Comboios e a Universidade de Aveiro. Disponível em: <http://ciclaveiro.pt/wp-content/uploads/2017/06/2017-06-22-Parecer-Rede-Ciclavel-e-trajecto-Estacao-UA.pdf> (05.01.2018).
- Ciclovía. (2009). Ecopista do Vale do Vouga. Disponível em: <http://www.ciclovía.pt/ciclovias/2centro/1aveiro/lvvouga/lvvouga.php> (21.01.2018).
- Coelho, M. (2017, 7 de Abril). Plataforma Tecnológica da Bicicleta e Mobilidade Suave. Apresentação no Encontro de parceiros locais do Projeto Interreg Europe CISMOB. Águeda.
- Colville-Andersen, M. (2017, 14 de Junho). The 20 Most Bike-Friendly Cities in the World, from Malmo to Montreal. *Wired*. p.1-10.
- Copenhagénize. (2017). The Copenhagenize Urban Cycling Index 2011, 2013 & 2015 Disponível em: <http://copenhagénizeindex.eu/> (26.02.2018).
- Cruz, R., Bandeira, J., Vilaça, M., Rodrigues, M., Fernandes, J., Coelho, M. (2019). *Introducing new criteria to support cycling navigation and infrastructure planning in flat and hilly cities*. 22nd Euro Working Group on Transportation Meeting, EWGT 2019, 18-20 September 2019, Barcelona, Spain.
- Cunha, J. P. S., Cunha, B., Pereira, A. S., Xavier, W., Ferreira, N., & Meireles, L. (2010). Vital-Jacket: A wearable wireless vital signs monitor for patients' mobility in cardiology and sports. In *Proceedings of the 4th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*. <https://doi.org/10.4108/ICST.PERVASIVEHEALTH2010.8991>.
- Danish Road Directorate (2000) *Collection of Cycle Concepts*. Denmark.
- Dekoster, J., & Schollaert, U. (1999). *Cycling: the way ahead for towns and cities*. European Commission ISBN 92-828-5724-7.
- Department for Transport (DfT) (2008) *Cycle Infrastructure Design – Local Transport Note 2/08*. UK. Diário de Notícias. Disponível em: <https://www.dn.pt/portugal/interior/pedalar-no-dia-a-dia-tornou-se-a-forma-mais-eficiente-de-andar-em-lisboa-9401387.html> (30.06.2019).
- Dill, J., Carr, T. (2003). *Bicycle commuting and facilities in major US cities: if you build them, commuters will use them*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1828, 116-123.
- Dill, J., & Carr, T. (2003). Bicycle commuting and facilities in major US cities: if you build them, commuters will use them. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1828(4134), 116-123.

- Dill, J., Rose, G. (2012). *E-bikes and Transportation Policy: Insights from Early Adopters*. s.l.: 91th Annual Meeting of the Transportation Research Board.
- Earth Police Institute. (2004). Bicycle Production by Top Countries, 1990-2003. Disponível em: <http://www.worldometers.info/bicycles/> (02.02.2018).
- Earth Police Institute. (2008). Bicycle Production by Top Countries, 1990-2007. Disponível em: http://www.earth-policy.org/datacenter/xls/indicator11_2008_3.xls (02.02.2018).
- ECF – European Cyclists Federation. (2014). *Cycling and motor vehicle safety*. Consultado a 14 de Fevereiro de 2018 e disponível em: <https://ecf.com/>.
- EEA – European Environment Agency. (2007). *Transport and environment: on the way to a new common transport policy*. Consultado a 12 de Fevereiro de 2018 e disponível em: <http://www.eea.europa.eu/>.
- EEA – European Environment Agency. (2016). *Air quality in Europe – 2016 report*. Consultado a 23 de Maio de 2018 e disponível em: <http://www.eea.europa.eu/>.
- EEA – European Environment Agency. (2018). *Progress of EU transport sector towards its environment and climate objectives*. Consultado a 23 de Maio de 2015 e disponível em: <https://www.eea.europa.eu/themes/transport/term/term-briefing-2018>.
- Ehrgott, M., Wang, J. Y. T., Raith, A., & Van Houtte, C. (2012). *A bi-objective cyclist route choice model*. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 46(4), 652-663.
- EPOMM. (2012). TEMS – The EPOMM Modal Split Tool. Disponível em: <http://www.epomm.eu/> (15.02.2018).
- EUROSTAT. *Energy balance sheets 2010-2011*. Luxemburgo: European Union, 2013.
- Eurostat. (2019). Greenhouse gas emission statistics – Emission inventories. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/pdfscache/1180.pdf> (01.07.2019).
- European Commission. *EU Transport in figures – Statistical pocketbook*. Luxembourg: European Union, 2012.
- European Commission. *EU Energy in figures – Statistical Pocketbook*. Luxembourg: European Union, 2018.
- European Parliament, Directorate General for Internal Policies, Policy Department B: Structural and Cohesion policies, Transport and Tourism.
- European Union's Intelligent Energy. (2010). PRESTO Cycling Policy Guide: General Framework.
- Fáilte Ireland (2007) *A strategy for the development of Irish cycle tourism: conclusions report*. Dublin, Ireland.
- Ferreira, A. (2018). *Pedalar no dia-a-dia tornou-se a forma mais eficiente de andar em Lisboa*.
- Fietsberaad. (2006). Continuous and integral: The cycling policies of Groningen and other European cycling cities. Amsterdam: Fietsberaad.
- Fietsberaad. (2011). Bicycle highways profitable. Disponível em: <http://www.fietsberaad.nl/index.cfm?lang=nl§ion=nieuws&mode=newsArticle&repository=Bicycle+highways+profitable> (23.02.2018).
- Filipe, S. (2013, 24 de Março). Aveiro é líder nas bicicletas com 15 mil utilizadores/dia. *Jornal de notícias*, p.4.
- Frey, H., Unal, A., Chen, J., Li, S. (2003). *Modelling Mobile Source Emission Based Upon In-Use and Second-by-Second Data: Development of Conceptual Approaches for EPA's New MOVES Model*.
- Fu, J., & Hochmair, H. (2009). Web Based Bicycle Trip Planning for Broward County, Florida. *ESRI User Conference* (pp. 1-12). San Diego, California.
- Galp Energia. (2012). *Ciclovias e percursos pedonais*.
- Gardner, G. (2010). *Power to the Pedals*. s.l.: World Watch Magazine, 23(4).
- Gastinger, S., Nicolas, G., Sorel, A., Sefati, H., Prioux, J. (2012). *Energy Expenditure Estimate by Heart-Rate Monitor and a Portable Electromagnetic-Coil System*. s.l. : International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism, pp 117-130, 2012.

- Gehl, J. (2010). *Cities for People*. Washington, DC: Island Press.
- Geller, R. (2009, 29 de Outubro). Four Types of Cyclist. *Portland Bureau of Transportation*. Disponível em: <https://www.portlandoregon.gov/transportation/article/158497> (15.03.2018).
- Gillen, D. W. 1996. Transportation infrastructure and economic development: a review of recente literature. *Logistics and Transportation Review*, 32(1): 39-62.
- Graça, H. (2015, 16 de Outubro). Proposto limite de 30 km/h nos centros urbanos. *Diário de Notícias*, p.3.
- Harvey, F., & Krizek, K. (2007). *Commuter Bicyclist Behaviour and Facility Disruption*. St. Paul, Minnesota.
- Hochmair, H. (2004). Decision support for bicycle route planning in urban environments. Em F. Toppen & P. Prastacos (Eds.), *Proceedings of the 7th AGILE Conference on Geographic Information Science* (pp.697-706). Heraklion, Greece: Crete University Press.
- Hochmair, H. (2005). Towards a Classification of Route Selection Criteria for Route Planning Tools. *Developments in Spatial Data Handling* (p.481-492). Berlin/Heidelberg: Springer.
- Hochmair, H. (2009). GIS-based Identification of Effective Bicycle Level of Service Improvement in Street Networks. *12th AGILE International Conference on Geographic Information Science*. Hannover.
- Hochmair, H. (2012). Identification of Bicycle Demand from Online Routing Requests Modeling Approach. Em T. Jekel, A. Car, J. Strobl, & G. Griesebner (Eds.), *GI_Forum 2012: Geovisualization, Society and Learning* (pp. 445-454). Berlin: Wichmann.
- Hunt, J. D., & Abraham, J. E. (2007). *Influences on bicycle use*. *Transportation*, 34(4), 453-470.
- Illich, I. (1973). *Energy and Equity*. London. Harper & Row.
- IMTT. (2012). Diretrizes Nacionais para a Mobilidade.
- IMTT. (2011a). Rede Ciclável – Princípios de Planeamento e Desenho. *Coleção de Brochuras Técnicas/Temáticas*.
- INE. (2002). *Censos 2001: resultados definitivos*.
- International Energy Agency. *Energy Technology Perspectives, Scenarios and Strategies to 2050*. França: OECD/IEA, 2010.
- Jäppinen, S., Toivonen, T. & Salonen, M. (2013). *Modelling the potential effect of shared bicycles on public transport travel time in Greater Helsinki: An open data approach*.
- Keytel, L., Goedeck, J., Noakes, T., Hiiloskorpi, H., Laukkanen, R., Van Der Merwe, L., Lambert, E. (2005). *Prediction of energy expenditure from heart rate monitoring during submaximal exercise*. s.l. : Journal of Sports Sciences, pp 289-297, 2005.
- Klobucar, M., Fricker, J., 2007. "Network evaluation tool to improve real and perceived bicycle Safety." *Transportation Research Record* 2031, 25-33.
- Koupal, J., Hart, C., Brzezinski, D., Giannelli, R., Bailey, C. (2002). *Draft Emission Analysis Plan for MOVES GHG*. s.l.: U.S. Environmental Protection Agency.
- Larsen, J., & El-Geneidy, A. (2011). *A travel behavior analysis of urban cycling facilities in Montréal, Canada*. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16(2), 172-177.
- Lathia, N., Ahmed, S., Capra, L. (2012). *Measuring the impact of opening the London shared bicycle scheme to casual users*. s.l.: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 22, pp. 88-102.
- Lindsay, G., Macmillan, A. & Woodward, A. (2011). *Moving urban trips from cars to bicycles: impact on health and emissions*. New Zealand.
- Lindsay, G., Macmillan, A., Woodward, A. (2011). *Moving urban trips from cars to bicycles: impact on health and emissions*. s.l.: *Australian and New Zealand Journal of Public Health*, 35.
- Lumsdon, L, Weston, R, McGrath, P, Davies, N, Peeters, P, Eijgelaar, E, Piket, P (2009) *The European Cycle Route Network EuroVelo – Challenges and opportunities for sustainable tourism*.
- Manton, R., Clifford, E. (2013). *Identification and classification of factors for cycling route selection*. Ireland.

- Martinez, L., Caetano, L., Eiró, T., Cruz, F. (2012). *An optimisation algorithm to establish the location of station of a mixed fleet biking system: na application to the city of Lisbon*. Paris: 15th Edition of the Euro Working Group on Transportation.
- Mekuria, M., Furth, P., Nixon, H., 2012. "Low-stress bicycling and network connectivity." Mineta Transportation Institute, San José State University.
- Mendes, M. (2014). *On-road evaluation of conventional and electric motorcycle and bicycles performance in urban context*.
- Mendes, M., Duarte, G., & Baptista, P. (2015). *Introducing specific power to bicycles and motorcycles: Application to electric mobility*. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2014.11.005>. (11.04.2018).
- Menghini, G., Carrasco, N., Schüssler, N., & Axhausen, K. W. (2010). *Route choice of cyclists in Zurich*. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 44(9), 754-765.
- Milakis, D. (2015). *Will Greeks cycle? Exploring intention and attitudes in the case of the new bicycle network of Patras*. International Journal of Sustainable Transportation 9 (5), 321-334. Regulamento (UE) N.º 517/2014 do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Abril de 2014. *Jornal Oficial da União Europeia*. p. 150.
- Reynolds, C., Harris, M.A., Teschke, K., Crompton, P.A., & Winters, M. (2009). The impact of transportation infrastructure on bicycling injuries and crashes: a review of the literature. *Environ Health*. p.1-3.
- Rietveld, P. (2004). Determinants of bicycle use: do municipal policies matter? *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 38(7), 531-550.
- Rietveld, P. and Bruinsma, F. 1998. *Is Transport Infrastructure Effective? Transport Infrastructure and Accessibility: Impacts on the Space Economy*, Berlin: Springer.
- Ryu, S., Su, J., & Chen, A. (2015). A Bicycle Network Analysis Tool for Planning Applications in Small Communities. *Mountain-Plains Consortium*. p.7.
- Seabra, M., Pinheiro, A., Marcelino, C., Costa, M., Bento, S. (2012). *CICLANDO – Plano de Promoção da Bicicleta e Outros Modos Suaves*. Dezembro. Lisboa.
- Shaheen, A., Cohen, P. (2008). *Worldwide Carsharing Growth: An International Comparison*. s.l.: Institute of Transportation Studies (UCD), UC Davis.
- Sobral, R. (2007). *A bicicleta na cidade de Lisboa: Contribuições para a implementação e promoção do uso da bicicleta como meio de transporte urbano*. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Ciências Sociais e Humanas – Universidade Nova de Lisboa.
- Squires, N. (2012, 2 de Outubro). More bikes sold than cars in Italy for first time since WW2. The telegraph. Disponível em: <https://www.telegraph.co.uk/finance/newsbysector/transport/9581180/More-bikes-sold-than-cars-in-Italy-for-first-time-since-WW2.html> (06.02.2018)
- Stinson, M., & Bhat, C. (2003). An analysis of commuter bicyclist route choice using a stated preference survey. *Transportation Research Record*, 1828(512), 107-115.
- Stinson, M., & Bhat, C. (2005). A comparison of the route preferences of experienced and inexperienced bicycle commuters. Transportation Research Board 84th Annual Meeting. Washington, D.C. Disponível em: http://www.ce.utexas.edu/prof/bhat/ABSTRACTS/Nov15_Inexperienced_Bicycle_Commuters_TRB2005.pdf (18.01.2018).
- Su, J. G., Winters, M., Nunes, M., Brauer, M. (2010). Designing a route planner to facilitate and promote cycling in Metro Vancouver, Canada. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(7), 495-505.
- The Bike-sharing Blog. (2011). *Japanese Bike-share is Electric*.
- Transport for London. (2012). Cycle route choice – Final survey and model report. London. Disponível em: <http://content.tfl.gov.uk/understanding-cycle->

routechoice.pdf?fbclid=IwAR2bKqmd4pTmfyZAfmZeEBcEmKq4EvXL0pLZvRKfegmqrBFfAt
tH5PyWGBc (02.07.2019).

Transport Scotland (2011) *Cycling by Design 2010*. UK.

United Nations Department of Economic and Social Affairs Population Division. (2011). *Distribution, Urbanization, Internal Migration and Development: An International Perspective*. Disponível em: <http://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/18920> (05.02.2018).

Vale, D. S. (2012). O papel das características da cidade na promoção do uso da bicicleta. *Murtosa Ciclável, Congresso Ibérico*. Murtosa.

VéliVert. (2012). *VéliVert – Bikesharing scheme in Saint-Etienne*.

Wang, R. (2011). *Autos, transit and bicycles: Comparing the costs in large Chinese cities*. s.l.: Transport Policy. 18, pp. 139-146.

Wilson, D. (2004). *Bicycling Science*. Massachusetts: s.n.

Worldometer. (2018). Bicycles produced in the world. Disponível em: <http://www.worldometers.info/bicycles/> (03.02.2018).

Worldometer. (2019). Bicycles Produced this year. Disponível em: <https://www.worldometers.info/bicycles/> (01.07.2019).

Yang, C., Mesbah, M. (2013). Route Choice Behaviour of Cyclist by Stated Preference and Revealed Preference. Disponível em: https://www.atrf.info/papers/2013/2013_yang_mesbah.pdf?fbclid=IwAR3SQ2EeBx8QT0nINfW7JDElWkUVdqOKkNLwGOKM3eRxKfTuGBg2UIkDxJ4 (02.07.2019).

Diplomas Legais

Resolução da Assembleia da República n.º 3/2009. D.R. n.º 25, Série I de 5 de Fevereiro de 2009. Plano nacional de promoção da bicicleta e outros modos de transporte suaves.

Resolução da Assembleia da República n.º 14/2012. D.R. n.º 29, Série I de 9 de Fevereiro de 2012. Recomenda ao Governo a promoção da mobilidade sustentável com recurso aos modos suaves de transporte, nomeadamente através de medidas práticas que garantam efetivas condições de circulação aos seus utilizadores e o reforço da sua segurança.

Decreto-Lei n.º 138/2012. D.R. n.º 129, Série I de 5 de Julho de 2012. O presente diploma introduz diversas alterações ao Código da Estrada e aprova o novo Regulamento da Habilitação Legal para Conduzir, transpondo parcialmente para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2006/126/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 20 de Dezembro, relativa à carta de condução, na relação dada pela Diretiva n.º 2011/94/EU, da Comissão, de 28 de Novembro.

Anexo A – Síntese Descritiva de *Bike Route Planners* existentes no mercado

No que respeita a plataforma de planeamento de rotas, num primeiro momento foi feita uma averiguação das plataformas mais populares de planeamento de percursos de bicicleta a nível mundial.

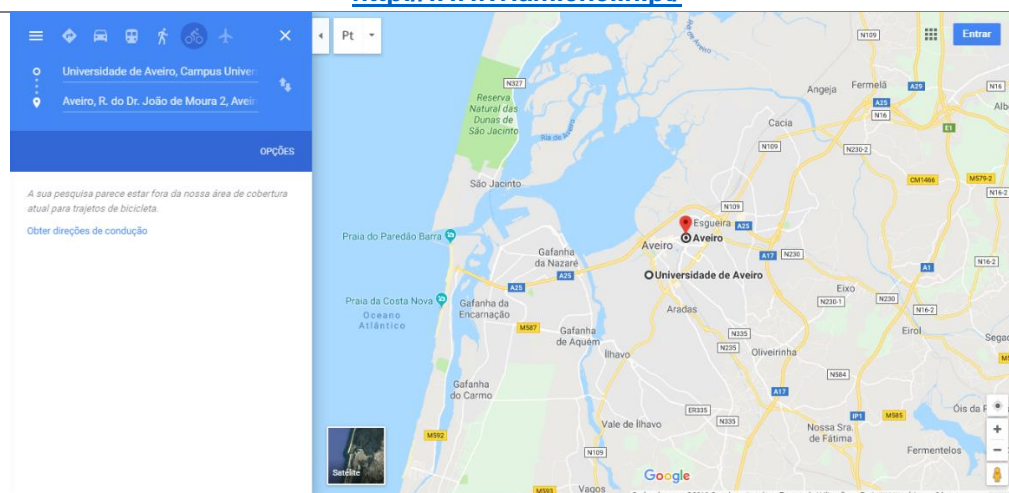
Em seguida, foi feita a recolha de dados referentes às características e funcionalidades apresentadas em cada *bike route planner* selecionado, bem como os dados de entrada, usualmente designados por *inputs* e os dados de saída ou *outputs*.

Por último, elaborou-se uma tabela comparativa com o intuito de dar a conhecer quais as plataformas de planeamento de percursos mais vantajosas em função das predileções selecionadas por cada utilizador de bicicleta.

Seguidamente, apresentam-se as sínteses descritivas de todas as plataformas de planeamento de rotas avaliadas, no qual será exibida uma figura representativa de cada *bike route planner* existente, bem como as suas características, funcionalidades, dados de entrada e dados de saída. Importa ainda referir que para cada *bike route planner* são ainda feitas breves observações acerca das suas características ou limitações que apresentam.

Google Maps

<http://www.viamichelin.pt/>



Sugestão de percursos alternativos	Não
Sugestão de itinerário de regresso	Sim
Possibilidade de acrescentar pontos intermédios	Sim
Disponível para Lisboa	Não
Tem em conta os declives das vias	Não*
Tecnologia Open Source	Não
Versão para Smartphone	Sim
Permite adicionar outra informação ao mapa (layers)	Sim
Aceita contributos/informação para adicionar ao mapa	Sim
Pede feedback sobre o percurso sugerido	Não
Dados de entrada	Partida e chegada
Dados de saída	Distância em km
	Tempo estimado
	Listagem de viragens
Outras observações: Esta funcionalidade da plataforma ainda não se encontra disponível para a cidade de Lisboa. Permite visualizar a rede de ciclovias, bike lanes, ruas de espaço partilhado e vias preferidas pelos ciclistas. Utiliza uma rede mais completa do que a rede viária automóvel	

*A contabilização dos declives das vias depende da cidade selecionada.

Cycle Vancouver

<http://www.cyclevancouver.ubc.ca/>

Sugestão de percursos alternativos	Não
Sugestão de itinerário de regresso	Sim
Possibilidade de acrescentar pontos intermédios	Não
Disponível para Lisboa	Não
Tem em conta os declives das vias	Sim
Tecnologia Open Source	Sim
Versão para Smartphone	Sim
Permite adicionar outra informação ao mapa (layers)	Sim
Aceita contributos/informação para adicionar ao mapa	Sim
Pede feedback sobre o percurso sugerido	Não
Dados de entrada	Partida e chegada Velocidade média Tipo de vias preferias (2 opções) Tipo de percurso preferido: limite de tolerância ao declive, menos poluição, mais curto, maior cobertura de espaços verdes, menor elevação acumulada
Dados de saída	Distância em km Tempo estimado Mapa com variações de declive ao longo do percurso Calorias consumidas (kcal) Níveis de dióxido de carbono a que foi sujeito Elevação acumulada Percentagem do percurso em espaços verdes Listagem de viragens Exportar percurso para Google Earth
Outras observações: Esta plataforma resulta de um projeto universitário onde é apresentada publicamente documentação sobre as bases dos algoritmos e classificação das vias (Su et al., 2010). Permite visualizar a rede ciclável, vias preferidas pelos ciclistas, vias utilizadas por transportes de carga e áreas de maior poluição do ar	

The screenshot shows the Bike Metro website interface. At the top, there's a navigation bar with links: MAPS, INFORMATION, HOME, BIKE ROUTES, and COMMUNITIES. The main heading is "Bike Routes". Below this, there's a section titled "Use one of the three options to find your Route." followed by instructions: "For additional options, please fill out the bottom section then click Get Route for your map and directions!" and "Lower your hill tolerance to get a flatter route, possibly at the expense of distance." and "Lower your skill level to get a route with less traffic and lower speeds".

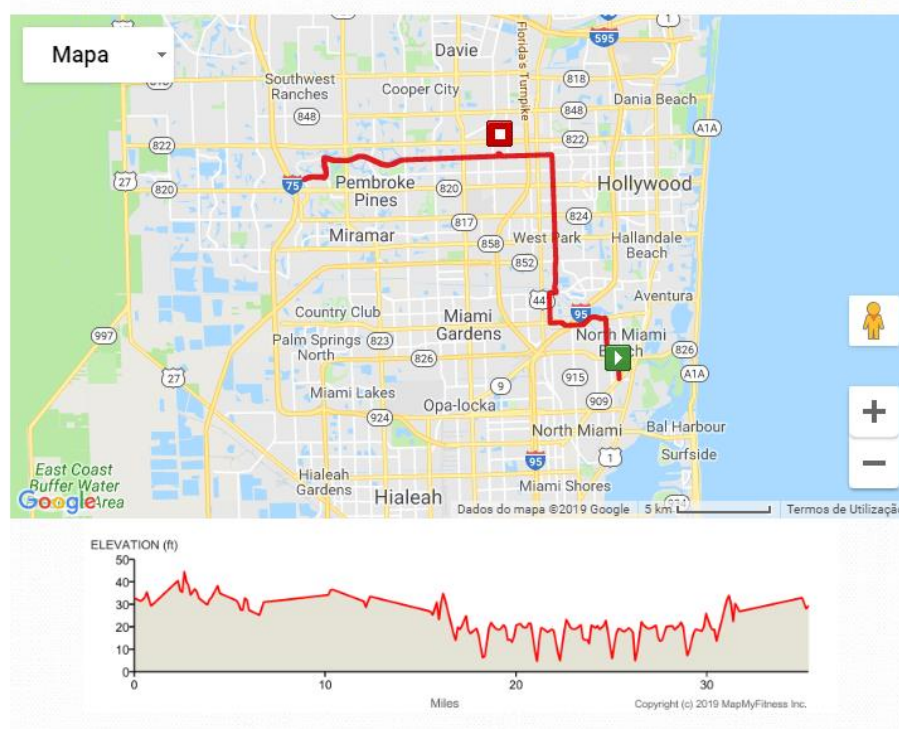
The form is divided into two main sections: "FROM:" and "TO:". Each section has two input methods: "Enter Origin Address:" and "Enter Destination address:". Each input method has fields for "Address:", "City:", "State:" (with a dropdown menu showing "CA"), and "ZIP:". Below these, there are buttons for "Select Origin from Map" and "Select Destination from map".

Below the map selection buttons, there are two more sections: "Origin Point of Interest:" and "Destination Point of Interest:". Each section has a "Select County:" dropdown menu (with "Los Angeles" selected in the origin section), a "Select Category:" dropdown menu (with "Select a County First" selected in the destination section), and a "Select Point of Interest:" dropdown menu (with "Select a Category First" selected in the destination section).

Sugestão de percursos alternativos	Não
Sugestão de itinerário de regresso	Sim
Possibilidade de acrescentar pontos intermédios	Não
Disponível para Lisboa	Não
Tem em conta os declives das vias	Sim
Tecnologia Open Source	Não
Versão para Smartphone	Não
Permite adicionar outra informação ao mapa (layers)	Não
Aceita contributos/informação para adicionar ao mapa	Não
Pede feedback sobre o percurso sugerido	Não
Dados de entrada	Partida e chegada
	Tolerância ao declive (5 opções)
	Experiência do utilizador de bicicleta (3 opções)
Dados de saída	Distância em milhas
	Elevação acumulada
	Perfil altimétrico
	Listagem de viragens
	Calorias consumidas (kcal)
	Custo do mesmo trajeto, em automóvel
Outras observações: Interface pouco user-friendly. Permite fazer a conjugação com transportes públicos	

PLEASURE TOUR

powered by
mapmyfitness



Sugestão de percursos alternativos	Não
Sugestão de itinerário de regresso	Sim
Possibilidade de acrescentar pontos intermédios	Não
Disponível para Lisboa	Não
Tem em conta os declives das vias	Não
Tecnologia Open Source	Não
Versão para Smartphone	Sim
Permite adicionar outra informação ao mapa (layers)	Sim
Aceita contributos/informação para adicionar ao mapa	Não
Pede feedback sobre o percurso sugerido	Sim
Dados de entrada	Partida e chegada
	Tipo de percurso preferido: o percurso mais seguro, o percurso seguro e o percurso mais direto
Dados de saída	Distância em milhas
	Tempo estimado
	Elevação acumulada
	Listagem de viragens, com tipo de via
Outras observações: Informação sobre lojas, locais de aluguer, estações de bicicletas partilhadas e oficinas de bicicletas. Aviso de desresponsabilização no caso de sugerir vias menos seguras. É pedido feedback acerca do percurso sugerido, de forma simples e categórica: 1) "Excelente, exatamente o que faria" 2) "Muito bom, próximo do melhor percurso possível" 3) "Ok, mas com algumas viragens pouco comuns" 4) "Muito mau, mais mau do que bom" 5) "Terrível do início ao fim"	

Via Michelin
<http://www.viamichelin.pt/>

The screenshot shows the Via Michelin website interface. On the left, there's a sidebar with a search bar containing '3800 Glória' and 'Rua da República, Cacia, Portugal'. Below the search bar are buttons for 'OPÇÕES', 'BUSCAR', and 'SELECIONE um hotel'. The main area displays a map with a highlighted route from Glória to Cacia. Below the map, there are two route options: '1 Via Alameda Silva Rocha N109' and '2 Via Rua do Viso N109'. The first route is selected, showing a time of 00h32 and a distance of 7.5 km. The second route shows a time of 00h40 and a distance of 9.1 km. At the bottom, there are buttons for 'Tempo' and 'Distância'.

Sugestão de percursos alternativos	Sim
Sugestão de itinerário de regresso	Sim
Possibilidade de acrescentar pontos intermédios	Sim
Disponível para Lisboa	Sim
Tem em conta os declives das vias	Não
Tecnologia Open Source	Não
Versão para Smartphone	Sim
Permite acrescentar outra informação ao mapa (layers)	Não
Aceita contributos/informação para adicionar ao mapa	Não
Pede feedback	Não
Dados de entrada	Partida e chegada
Dados de saída	Distância em km ou milhas
	Tempo estimado
	Listagem de viragens
Outras observações: Embora seja uma plataforma direcionada para viagens de automóvel, esta ferramenta apresenta a opção de planejar percursos de bicicleta	

Choose crossing:

Start Rua Castilho at corner Rua Ramalho Ortigão(street without name)/Look Fashion
Destination: Ciclovia do Marques de Pombal at corner Ciclovia da Avenida Fontes Pereira de Melo

Settings:

Preferred speed: km/h
 Preferred street category: prefer residential roads
 Road surface: no preference
 On the way with: nothing special
 Avoid unlit streets: ☐
 Use ferries: ☐

[Show route >>](#)

[home](#) | [help](#) | [tools](#) | [download](#) | [donate](#) | [livesearch](#) | [List of all known streets in Lisbon](#) | [more cities](#) | [permalink](#)

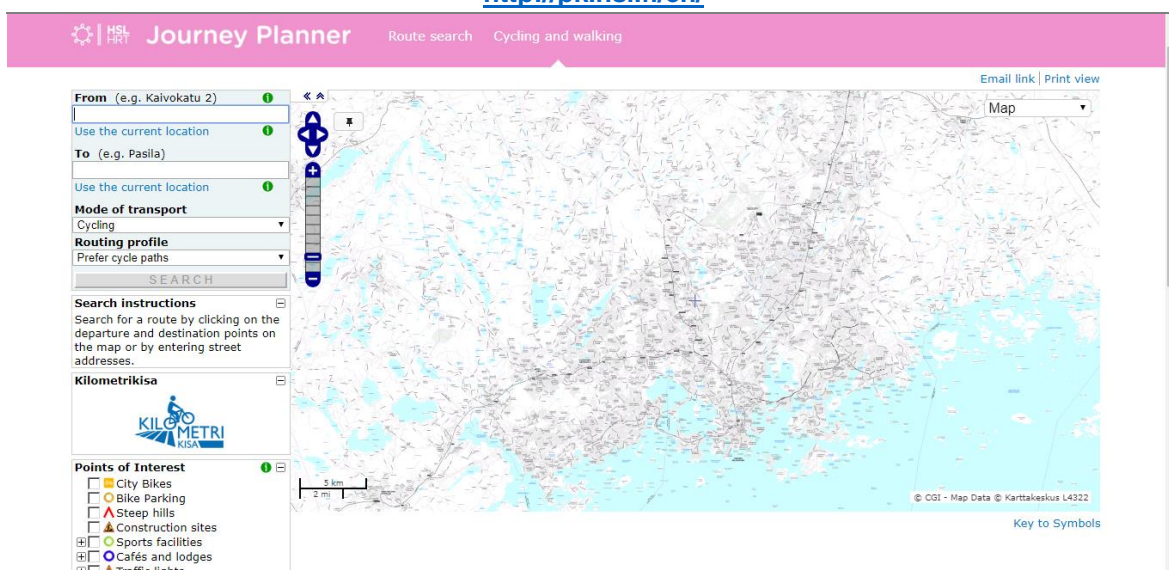
[Donate](#) [twitter](#) [rss](#)

Sugestão de percursos alternativos	Não
Sugestão de itinerário de regresso	Sim
Possibilidade de acrescentar pontos intermédios	Sim
Disponível para Lisboa	Sim
Tem em conta os declives das vias	Não*
Tecnologia Open Source	Sim
Versão para Smartphone	Não
Permite acrescentar outra informação ao mapa (layers)	Sim
Aceita contributos/informação para adicionar ao mapa	Não
Pede feedback	Não
Dados de entrada	Partida e chegada
	Velocidade média
	Tipo de via preferida (5 opções)
	Tipo de pavimento (2 opções)
	Evitar semáforos
	Evitar ruas desconhecidas
	Preferência por corredores verdes
	Viajar com atrelados ou crianças
Dados de saída	Distância em km
	Tempo estimado
	Listagem de viragens
	Perfil altimétrico
	Exportar percurso para Google Earth
Outras observações: Originalmente da cidade de Berlim situada na Alemanha. Tradução pouco eficiente para língua portuguesa. De notar que só reconhece a morada se esta se encontrar escrita de forma exatamente igual a que é apresentada no mapa	

*Não tem em conta os declives das vias para a cidade de Lisboa.

HSL HRT (Finlândia)

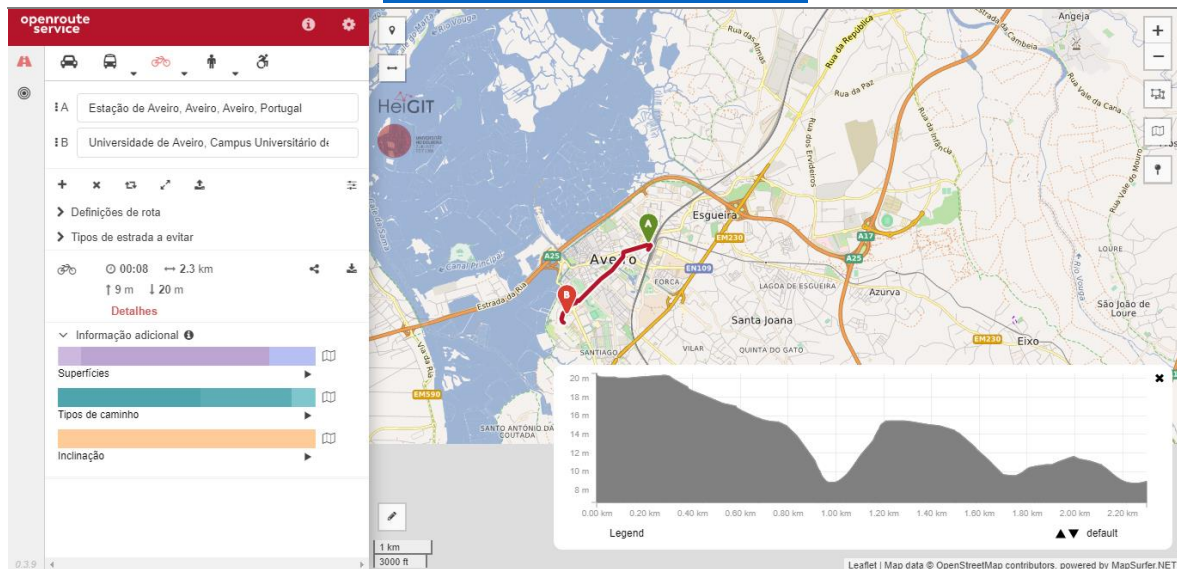
<http://pk.hsl.fi/en/>



Sugestão de percursos alternativos	Não
Sugestão de itinerário de regresso	Não
Possibilidade de acrescentar pontos intermédios	Não
Disponível para Lisboa	Não
Tem em conta os declives das vias	Sim
Tecnologia Open Source	Não
Versão para Smartphone	Não
Permite adicionar outra informação ao mapa (layers)	Sim
Aceita contributos/informação para adicionar ao mapa	Não
Pede feedback sobre o percurso sugerido	Não
Dados de entrada	Partida e chegada
	Velocidade média
	Tipo de percurso preferido: o mais curto, preferência por ciclovias, preferência por pavimentos asfaltados, preferência por pavimentos de terra batida
Dados de saída	Distância em km
	Tempo estimado
	Perfil altimétrico, com tipo de via
	Calorias consumidas e tradução em barras de chocolate
	Previsão meteorológica
Outras observações: A plataforma disponibiliza informação sobre lojas e oficinas de reparação de bicicletas. A plataforma dá ainda informação acerca de locais onde ocorreram furtos de bicicletas	

Open Route Service

<http://www.openrouteservice.org/>



Sugestão de percursos alternativos	Não
Sugestão de itinerário de regresso	Sim
Possibilidade de acrescentar pontos intermédios	Sim
Disponível para Lisboa	Não
Tem em conta os declives das vias	Sim
Tecnologia Open Source	Sim
Versão para Smartphone	Não
Permite adicionar outra informação ao mapa (layers)	Sim
Aceita contributos/informação para adicionar ao mapa	Sim
Pede feedback sobre o percurso sugerido	Não
Dados de entrada	Partida e chegada
	Tipo de percurso (5 opções)
Dados de saída	Distância em km ou milhas
	Tempo estimado
	Perfil altimétrico
	Exportar percurso para Google Earth
Outras observações: Permite calcular e visualizar até onde se consegue chegar estabelecendo 1 ponto e um intervalo de tempo. Esta plataforma permite indicar uma área a evitar aquando do cálculo do melhor percurso	

London Cycling Campaign
<http://routes.lcc.org.uk/journey>

ROUTES FOR WEMBLEY TO WILLESDEN

Route directions are in beta. LCC and CycleStreets (created by two LCC members) strongly welcome your feedback below.

Change journey details
Directions for return journey
Plan a new journey

Journey no.

#65 016 238

Get CycleStreets directions on your iPhone or Android phones.

Choose a route: [Fastest route](#) [Quietest route](#) [Balanced route](#)

Fastest route option

If you decide to follow the suggested journey below please take extra care on unfamiliar sections; proceed at your own risk (route quality cannot be guaranteed).

[Turn-by-turn directions below](#)

[Give feedback on route problems](#)

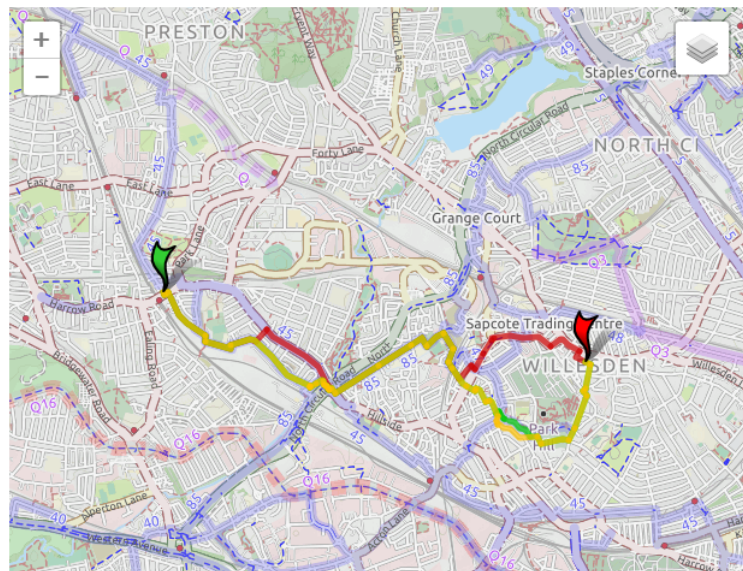
Journey time: 23 minutes

Distance: 3¼ miles

Calories: 92 kcal [about]

CO₂ avoided: 1.11 kg [about]

Quietness:  Very busy



Sugestão de percursos alternativos	Sim
Sugestão de itinerário de regresso	Sim
Possibilidade de acrescentar pontos intermédios	Não
Disponível para Lisboa	Não
Tem em conta os declives das vias	Não
Tecnologia Open Source	Não
Versão para Smartphone	Sim
Permite adicionar outra informação ao mapa (layers)	Não
Aceita contributos/informação para adicionar ao mapa	Não
Pede feedback sobre o percurso sugerido	Sim
Dados de entrada	Partida e chegada
	Quando partir
	Velocidade média
Dados de saída	Distância em milhas
	Tempo estimado
	Perfil altimétrico
	Calorias consumidas (kcal)
	Nº de semaforizações
	Listagem de viragens, com tipo de via e vista de rua
	Exportar percurso para Google Earth
Outras observações: A plataforma apresenta 3 percursos alternativos: o mais rápido, o mais calmo e o intermédio	

Além das plataformas de planeamento de rotas mencionadas anteriormente, importa ainda referir a existência de outras duas plataformas online. Assim, é feita em seguida uma breve análise de mais dois *bike route planners*, no qual serão evidenciadas, de modo análogo ao anteriormente exibido, as funcionalidades e limitações das mesmas.

Map My Ride

A plataforma Map My Ride é um sítio agregador de percursos, no qual é possível realizar a classificação de um determinado percurso segundo várias características, tanto a nível quantitativo como em termos de dificuldade na realização desse mesmo percurso. Esta plataforma oferece a possibilidade de se consultar percursos introduzidos por utilizadores da mesma, porém, não dispõe da sugestão de melhor percurso entre os pontos A e B. Deste modo, é possível afirmar com assertividade que esta se encontra orientada para a catalogação de percursos e não tanto para a sugestão destes.

Lisboa Ciclável

A plataforma Lisboa Ciclável foi desenvolvida pela Câmara Municipal de Lisboa e apresenta informação em forma de SIG relativa a:

- Ciclovias/vias destinadas à prática do ciclismo;
- Parques de estacionamento para bicicletas;
- Quiosques e mercados municipais;
- Espaços verdes;
- Estações e linhas de metro;
- *Bike Bus*, carreiras especiais da Carris que permitem o transporte de bicicletas;
- Pesquisa por lojas de bicicletas.

Importa referir que esta plataforma criada pela Câmara Municipal de Lisboa embora promova os modos suaves, não funciona como plataforma de planeamento de rotas, pelo que o seu uso é algo diminuto devido às elevadas limitações que apresenta.

Anexo B – Caracterização dinâmica do veículo utilizado nas monitorizações

Nesta secção apresenta-se a análise exaustiva dos percursos monitorizados nas cidades de Aveiro e Porto pelos ciclistas 2 e 3, respetivamente, para as quais foi feita uma recolha de dados com a extensão de cerca de 2,8 horas ou 10 039 segundos para a cidade de Aveiro através do ciclista 2 e aproximadamente 1,5 horas ou 5422 segundos para a cidade do Porto pelo ciclista 3. Assim, nesta secção estará contida uma recolha de dados em ambas as cidades que perfaz um total de cerca 4,3 horas ou 15 461 segundos, tendo sido esta recolha de dados feita através do equipamento GNSS, câmara de vídeo e equipamento *Vital Jacket*.

Anexo B.1 – Resultados para a potência específica nas bicicletas (BSP) em Aveiro para o ciclista 2

A análise da potência específica nas bicicletas (BSP) iniciou-se, de forma análoga ao caso de estudo do ciclista 1, pelo estudo estatístico da viagem de cada um dos percursos da cidade de Aveiro realizada pelo ciclista 2, sendo que a recolha de dados por parte deste para a cidade de Aveiro teve a duração aproximada de 2,8 horas, o que corresponde a cerca de 10 039 segundos de monitorização dos diversos percursos.

Deste modo, encontram-se na tabela B.1-1 os resultados estatísticos correspondentes a cada percurso realizado para a cidade de Aveiro. De notar que as variáveis presentes na Tabela 26 foram adquiridas com recurso ao equipamento *GNSS data logger* utilizado durante as medições. As variáveis contidas na tabela são a extensão das travessias em unidades métricas, o intervalo de tempo associado à realização dos percursos, o valor de velocidade máxima e o valor de velocidade média registado pelo ciclista em cada travessia em análise e por último, os valores médios das inclinações das vias, tanto o positivo, isto é, associado à inclinação das subidas, como o negativo, referente às descidas presentes nos diversos percursos.

Tabela 26 - Estatística da viagem para os diversos percursos realizados na cidade de Aveiro para o ciclista 2.

Percurso	P1a	P1b	P2a	P2b	P3a	P3b
Veículo	BC	BC	BC	BC	BC	BC
Número de viagens	3	3	3	3	3	3
Distância do percurso (km)	2,76	2,77	2,18	2,22	2,84	2,84
Tempo para a realização do percurso (segundos)	585,3	591,7	429,7	475,7	637,0	627,0
Inclinação média positiva (%)	4,5	5,0	6,9	4,3	6,5	5,3
Inclinação média negativa (%)	-5,0	-5,1	-6,0	-5,5	-5,6	-4,6
Velocidade média (km/h)	17,00	16,93	18,25	16,77	16,08	16,31
Velocidade máxima (km/h)	28,60	26,62	30,08	28,82	36,15	28,28

Por consulta da Tabela 26 é possível constatar que se utilizou a mesma bicicleta BC (bicicleta convencional) para todos os percursos realizados na cidade de Aveiro com o intuito de garantir as mesmas condições de monitorização. De referir ainda que o ciclista 2 realizou 3 medições para cada percurso em análise em Aveiro, sendo que a Tabela 26 apresenta a média dos parâmetros recolhidos para esse número de testes.

Através da análise da Tabela 26 observa-se, tal como no subcapítulo anterior referente aos mesmos percursos em Aveiro, mas realizado pelo ciclista 1, que os percursos P2a e P2b, percursos que correspondem à viagem entre a Universidade de Aveiro e a Estação de Comboios passando

pela Avenida de Santa Joana, são aqueles que requerem um menor tempo para a realização da travessia.

Deste modo, conclui-se que o percurso P2a, percurso que tem como ponto de partida a Universidade de Aveiro e destino a Estação de Comboios passando pela Avenida de Santa Joana, é 36,21% mais rápido que o seu homólogo P1a, percurso também com início na Universidade de Aveiro e término na Estação de Comboios passando pelo Alboi, e 48,2% mais célere do que o percurso P3a que corresponde ao percurso com uma vez mais início na Universidade de Aveiro e fim na Estação de Comboios, passando pelo Centro de Congressos. No que concerne ao sentido inverso, isto é, aos percursos com início na Estação de Comboios e fim na Universidade de Aveiro verifica-se uma vez mais que o percurso que passa pela Avenida de Santa Joana, percurso P2b, é aquele que apresenta um menor tempo necessário para a realização da travessia, sendo cerca de 25% mais célere do que o percurso P1b e cerca de 32% mais rápido que o percurso P3b.

No que diz respeito à extensão dos percursos, constata-se que o percurso que passa pela Avenida de Santa Joana, percurso P2a, é aquele que apresenta uma menor extensão, sendo esta 27% inferior à percorrida no percurso P1a que tem como ponto de partida tal como o anterior a Universidade de Aveiro e destino a Estação de Comboios sendo que este passa pelo Alboi e 30% inferior à verificada para o percurso P3a que tem passagem pelo Centro de Congressos de Aveiro. No que concerne ao sentido inverso, mantém-se esta tendência no que confere às distâncias dos percursos, sendo que neste caso o percurso P2b apresenta uma distância um pouco superior ao seu inverso (P2a) devido ao facto de o percurso sofrer um ligeiro desvio pela Avenida Lourenço Peixinho no percurso P2b devido à sinalização da Rua Cmte. Rocha e Cunha que impede o ciclista de regressar da estação por ela e obriga-o a voltar pela Avenida Lourenço Peixinho o que faz aumentar um pouco a distância do percurso P2b. No entanto, este continua a ser o percurso com menor distância dos 3 percursos em Aveiro com início na Estação de Comboios e término na Universidade de Aveiro, apresentando uma distância cerca de 25% inferior à registada para o percurso P1b e 28% inferior à do percurso P3b.

No que concerne à inclinação média positiva, verifica-se que o percurso P2a, percurso com início na Universidade de Aveiro e fim na Estação de Comboios passando pela Avenida de Santa Joana é aquele que apresenta uma maior inclinação média, sendo 53% superior ao verificado para o percurso P1a e 6% maior do que o registado para o percurso P3a, o que simboliza que de um modo global, o percurso P2a é aquele que requer um maior esforço físico ao ciclista dado que inclinações positivas são sinónimo da existência de subidas durante a travessia. Porém, no sentido inverso, isto é, para os percursos com início na Estação de Comboios e término na Universidade de Aveiro, verifica-se que as discrepâncias encontradas entre os diferentes percursos são inferiores ao sentido anterior, podendo-se concluir que neste caso o percurso P2b é aquele que apresenta uma menor inclinação média positiva, cerca de 4,3%, sendo este valor 16,3% inferior ao registado para o percurso P1b e 23,3% menor que o obtido para o percurso P3b, o que revela que para os percursos com início na Estação de Comboios e término na Universidade de Aveiro, o percurso P3b, percurso que tem passagem pelo Centro de Congressos, é aquele que apresenta um maior valor, sendo este valor sobretudo devido à inclinação acentuada que se regista na Rua Manuel J. Braga Alves que contribui significativamente para este valor, contrastando com o percurso P2b que apresenta um menor valor de inclinação média positiva e, portanto, de subidas acentuadas, sendo portanto o percurso P2b aquele que proporciona ao ciclista uma travessia menos exigente do ponto de vista do esforço físico.

No tocante ao valor da inclinação média negativa registado para os diferentes percursos com início na Universidade de Aveiro e término na Estação de Comboios, verifica-se que o percurso P2a que tem passagem pela Avenida de Santa Joana é aquele que apresenta um maior valor, sendo 20% superior ao registado para o percurso P1a e 7,1% superior ao verificado para o percurso P3a, o que indica que o percurso P2a é aquele que apresenta uma inclinação da via maior, quer positiva, quer negativamente. Por outro lado, no sentido inverso, o percurso P2b apresenta um valor 7,8%

superior ao registado para o percurso P1b e 19,6% superior ao verificado para o percurso P3b, o que simboliza que neste sentido, o percurso P2b é dos 3 percursos analisados aquele que permite ao ciclista efetuar a sua travessia de forma mais fácil, dado que apresenta um maior valor de inclinação média negativa ou seja, a travessia apresenta em média descidas mais acentuadas relativamente aos restantes percursos.

No que se refere à velocidade média atingida, para os percursos com início na Universidade de Aveiro e término na Estação de Comboios, o percurso P2a é aquele que apresenta um maior valor, cerca de 18,3 km/h, que é cerca de 7,5% superior ao registado para o percurso P1a e 13,5% superior ao observado para o percurso P3a. Tal é conseguido em parte devido ao facto de o percurso P2a ser aquele que apresenta um maior valor de inclinação negativa, isto é, de inclinação das descidas, o que por conseguinte facilita ao ciclista atingir velocidades superiores de deslocação que culminarão numa velocidade média superior face aos restantes percursos em análise. De notar ainda que o percurso P3a, percurso que tem como ponto de partida a Universidade de Aveiro e destino a Estação de Comboios passando pelo Centro de Congressos é aquele que apresenta um menor valor de velocidade média, sendo este valor significativamente afetado pela acentuada subida existente na Rua do Sr. dos Aflitos que se localiza entre a rotunda do Pingo Doce e a Estação de Comboios, uma vez que neste local as velocidades registadas através do equipamento GNSS são muito inferiores às observadas no resto do percurso tendo deste modo como consequência uma diminuição da velocidade média associada a este percurso. Já no sentido inverso, as discrepâncias existentes entre os diferentes percursos são menores, sendo que neste caso, para os percursos com início na Estação de Comboios e término na Universidade de Aveiro, o percurso P1b é aquele que apresenta uma maior velocidade média, cerca de 17 km/h, porém é apenas 1% superior à registada para o percurso P2b e 3,8% superior à observada para o percurso P3b. Neste caso, o facto de a velocidade média ser superior no percurso P1b pode ser explicado devido ao facto de o ciclista nesta travessia descer toda a Avenida Dr. Lourenço Peixinho, o que permitirá durante um significativo intervalo de tempo obter velocidades elevadas que contribuem fortemente para o valor encontrado e permitem deste modo concluir que o percurso P1b, percurso que tem início na Estação de Comboios e término na Universidade de Aveiro passando pelo Alboi é aquele que apresenta uma maior velocidade média.

No que respeita aos valores de velocidade máxima encontrados para os diferentes percursos com início na Universidade de Aveiro e fim na Estação de Comboios, é possível concluir que o percurso P3a é aquele que regista o valor mais elevado, cerca de 36 km/h sendo este valor 20% superior ao registado para o percurso P2a e 26,5% superior ao observado para o percurso P1a. De destacar que este valor de velocidade é atingido no fim da descida da Rua Manuel J. Braga Alves devido essencialmente à acentuada inclinação que esta apresenta que facilita atingir tal valor. Já o valor máximo encontrado para o percurso P2a, percurso que tem passagem pela Avenida de Santa Joana, este é encontrado no final da descida presente na Avenida 5 de Outubro, mais exatamente onde se localiza a loja de Calçado Guimarães. O valor máximo de velocidade observado para o percurso P1a, percurso que tem passagem pelo Alboi, é registado no final da passagem pela estrada N235, mais precisamente imediatamente antes de se abrandar para se efetuar a curva à direita para a Rua dos Santos Mártires onde se encontra a Fábrica da Ciência Viva e o Alboi. No que diz respeito aos percursos em sentido inverso, isto é, percursos com ponto de partida na Estação de Comboios e término na Universidade de Aveiro, o percurso P2b é aquele que apresenta o maior valor, 28,8 km/h, sendo este 8,3% superior ao registado para o percurso P1b e cerca de 2% superior ao observado para o percurso P3b. Neste caso, o valor máximo do percurso P2b é atingido na Avenida Dr. Lourenço Peixinho, imediatamente antes de se efetuar a viragem à esquerda com o intuito de se prosseguir viagem pela Avenida 5 de Outubro onde se encontra localizada a Sé de Aveiro. O valor máximo para o percurso P3b é atingido no final da descida da Rua do Sr. dos Aflitos, isto é, imediatamente antes de se entrar na rotunda no Pingo Doce com destino ao Centro de Congressos e o valor máximo para o percurso P1b é atingido na Avenida Dr. Lourenço Peixinho, próximo das

instalações da Agência Bancária da Caixa Geral de Depósitos. De notar que neste caso, apesar de o percurso P1b ter uma inclinação média negativa superior ao percurso P3b, este último apresenta uma maior velocidade máxima, uma vez que possui no seu trajeto uma descida significativamente mais acentuada relativamente às presentes no percurso P1b e que proporcionam ao ciclista o atingir de velocidades mais elevadas.

De seguida, na Figura 53 encontra-se representada a forma como a velocidade média registada pelo ciclista varia em função da inclinação da via. Por consulta da mesma, é possível constatar que a velocidade média apresenta valores mais elevados para valores elevados de inclinações negativas que correspondem a descidas com inclinação acentuada e que esta vai diminuindo à medida que o valor da inclinação da via aumenta, isto é, vai diminuindo à medida em que as descidas se vão tornando cada vez menos acentuadas (inclinações negativas diminutos), até que estas dão lugar a subidas (inclinações com valor positivo). Tal diminuição da velocidade média é explicada pelo facto de o aumento de inclinação positiva da estrada ter como consequência direta o aumento de exigência física ao ciclista para manter o mesmo ritmo registado em situações de descida, algo que é difícil de manter por um longo período, tendo como resultado, como se verificou anteriormente, um abaixamento da velocidade média do ciclista à medida que o valor da inclinação aumenta.

Importa ainda referir que para valores de inclinação negativa significativamente baixos, muito próximos de 0%, situação em que a via é considerada aproximadamente plana, a velocidade do ciclista é um pouco superior à registada para valores de inclinação negativa na ordem dos -2%, o que a princípio poderá gerar alguma confusão pois deveria ser superior para este caso. Contudo, após uma análise minuciosa dos dados verificou-se que para estes casos de inclinação negativa na ordem dos -2%, o ciclista aproveita a descida para reduzir o esforço físico e consequentemente descansar por instantes, pois sabe que continuará a deslocar-se a uma velocidade moderada devido à inclinação da via onde circula, o que não pode fazer em situações de inclinação aproximadamente 0, isto é, vias planas, que requerem que este mantenha o seu ritmo normal a pedalar por forma a poder continuar o seu percurso.

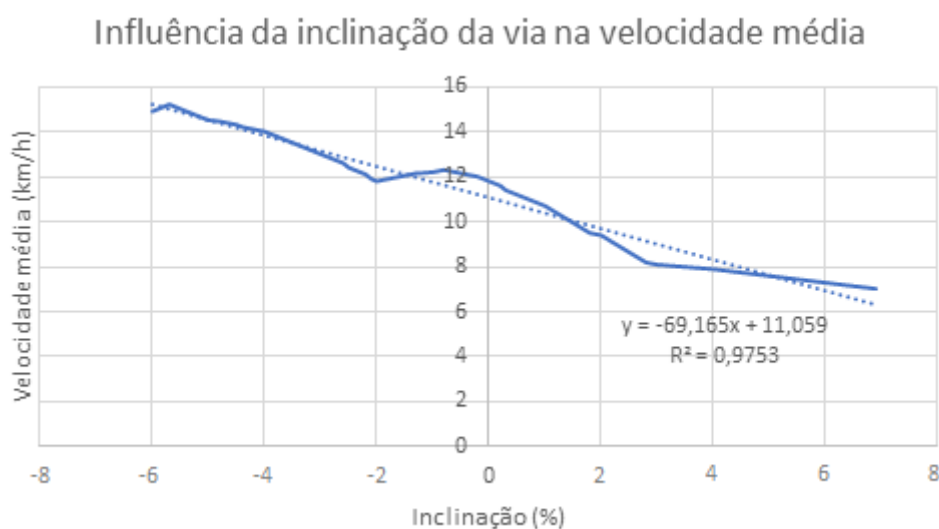


Figura 51 - Variação da velocidade média com a inclinação da estrada na cidade de Aveiro para o ciclista 2.

Com o intuito de proporcionar um melhor entendimento acerca do efeito da inclinação da via na velocidade média obtida pelo ciclista, apresenta-se, na Tabela 27, as velocidades médias obtidas para situações de inclinação negativa, isto é, situações de descida, onde a velocidade média possui o maior valor, sendo que este vai diminuindo, tal como foi referido anteriormente à medida que o valor de inclinação negativa aumenta positivamente, a velocidade média para o caso em que a

inclinação é igual a 0%, que é representativo da velocidade média atingida por um ciclista amador numa estrada plana e por último apresenta-se a velocidade média para situações de inclinação positiva, ou seja, subidas que como seria esperado, é onde se regista o menor valor devido essencialmente ao aumento de requisição de esforço físico ao ciclista.

Tabela 27 - Relação entre a velocidade média registada e a inclinação da via na cidade de Aveiro para o ciclista 2.

Inclinação	Negativa	Neutra	Positiva
Velocidade média (km/h)	13,31	12,00	8,61

Assim sendo, pela consulta da Tabela 27 é possível constatar que para situações de inclinação negativo, isto é, descidas, a velocidade média obtida pelo ciclista é cerca de 11% superior à velocidade média registada em vias planas e aproximadamente 55% superior relativamente ao valor obtido em situações de subida (inclinações positivas).

Importa ainda referir que se considerou um intervalo entre -1% e 1% de inclinação, para aferição do valor de velocidade média para vias planas, tendo-se chegado a um valor de 12,00 km/h.

Em seguida, após a separação do BSP em modos (Tabela 13), procedeu-se à distribuição das cerca de 2,8 horas de aquisição de dados, que correspondem a 10039 segundos de informação obtida em condições reais de monitorização, pelos diferentes modos de BSP, ficando-se dessa forma a conhecer a percentagem de tempo necessário à realização de cada percurso em cada modo, que pode ser consultada na Figura 54.

Na Figura 54 encontram-se representados os dados médios para a percentagem do tempo total despendido em cada modo de BSP, sendo que essa média de ocorrência foi dividida em duas partes. Por um lado, as colunas a azul são representativas da média dos resultados obtidos para os percursos com início na Universidade de Aveiro e fim na Estação de comboios dos quais fazem parte os percursos P1a, P2a e P3a. Já a verde, encontram-se os dados médios referentes aos percursos que têm como ponto de partida a Estação de Comboios e como ponto de chegada a Universidade de Aveiro, fazendo parte deste grupo os percursos P1b, P2b e P3b.

Fazendo uma análise comparativa entre as distribuições temporais em percentagem para os dois sentidos de viagem, conclui-se que os modos positivos se encontram largamente representados, perfazendo um total de 70,9% do tempo total despendido nos percursos com início na Universidade de Aveiro e fim na Estação de Comboios (P1a, P2a e P3a) e 71,00% nos percursos em sentido inverso, isto é, com início na Estação de Comboios e fim na Universidade de Aveiro dos quais fazem parte os percursos P1b, P2b e P3b. De notar que os modos positivos de BSP são representativos da necessidade de esforço humano, pelo que daqui se conclui que o ciclista despende esforço físico em aproximadamente 71% do tempo necessário à realização dos diversos percursos, independentemente do sentido considerado.

Pela análise da Figura 54 é também perceptível que os modos 1 e 2 de BSP apresentam uma relevância elevada no que concerne ao tempo total despendido, visto que para os percursos P1a, P2a e P3a estes modos em conjunto perfazem um total de 55,4% do tempo total destinado à realização dos percursos e para os percursos P1b, P2b e P3b um total de 55,3%, verificando-se uma diferença muito residual de 0,2% entre eles. Sendo os modos 1 e 2 de BSP, modos que requerem potências baixas (inferiores a 160W), daqui se retira que em aproximadamente 55% do tempo total de percurso o ciclista circula com um moderado esforço físico.

Importa também referir que o modo 0 de BSP, que representa instantes de tempo em que o ciclista se encontra parado apresenta uma representação de 5,1% para os percursos P1a, P2a e P3a e de 5% para os percursos P1b, P2b e P3b, o que indica que em aproximadamente 5% dos percursos, independentemente do sentido, o ciclista se encontra em repouso, o que permite concluir que pelo facto de os percursos P2a e P2b, percursos que passam pela Avenida de Santa Joana, serem aqueles que apresentam um menor tempo necessário para a sua realização, são também aqueles em que o ciclista se encontra menos parado, cerca de 22 segundos no percurso P2a e 24

segundos no percurso P2b, sendo estes valores cerca de 8 e 6 segundos relativamente aos percursos P1a e P1b que apresentam tempos de paragem de aproximadamente 30 segundos. No que diz respeito aos percursos P3a e P3b esta diferença ainda se acentua quando comparado com os percursos P2a e P2b uma vez que os percursos P3a e P3b, percursos que passam pelo Centro de Congressos, têm um tempo associado à realização da travessia superior e por conseguinte isso se traduzirá num maior período de tempo em que o ciclista se encontra parado. Assim, conclui-se que o ciclista no percurso P3a se encontra em média cerca de 10 segundos a mais em estado de repouso relativamente ao percurso P2a e aproximadamente 8 segundos a mais parado em relação ao percurso P2b, uma vez que para o percurso P3a o ciclista se encontra em média parado por um período de tempo de 32 segundos e para o percurso P3b o ciclista se encontra em média em repouso por um intervalo de tempo de aproximadamente 32 segundos.

De notar que para modos de BSP elevados, nomeadamente para $BSP > 4$, a representação é muito residual, o que é devido essencialmente ao facto do modo $BSP > 4$ ser representativo da existência de potências muito elevadas, sendo estas superiores a 310 W, o que são níveis de potência difíceis de atingir por ciclistas não profissionais. Neste modo, os percursos P1a, P2a e P3a apresentam uma representação de 1% o que é 5% inferior à representação deste modo para os percursos P1b, P2b e P3b, sendo que tal facto se deve sobretudo à existência da subida de inclinação acentuada na Rua Manuel J. Braga Alves no percurso P3b que exige ao ciclista uma potência significativa e que por conseguinte contribui para a elevação da representação deste modo para um total de 1%, sendo ainda assim um valor muito baixo quando comparado com a representação dos outros modos positivos de BSP.

Por último, é possível observar para ambos os sentidos dos percursos em análise, que aproximadamente 24% do tempo total despendido na realização dos percursos é passado em modos negativos de BSP, sendo estes modos indicativos de situações de travagem ou de desaceleração por parte do ciclista.

Assim, com o intuito de promover um melhor entendimento por parte do leitor acerca da distribuição temporal pelos diferentes modos de BSP, apresenta-se a Figura 54 onde esta é feita. De destacar que para a realização desta figura foram agrupados os dados médios correspondentes a cada sentido do percurso, isto é, foram colocados os valores médios do conjunto de percursos P1a, P2a e P3a que se encontram representados na Figura 54 pelas barras de cor azul e foram colocados os valores médios do conjunto de percursos P1b, P2b e P3b que se encontram na figura pelas barras de cor verde.

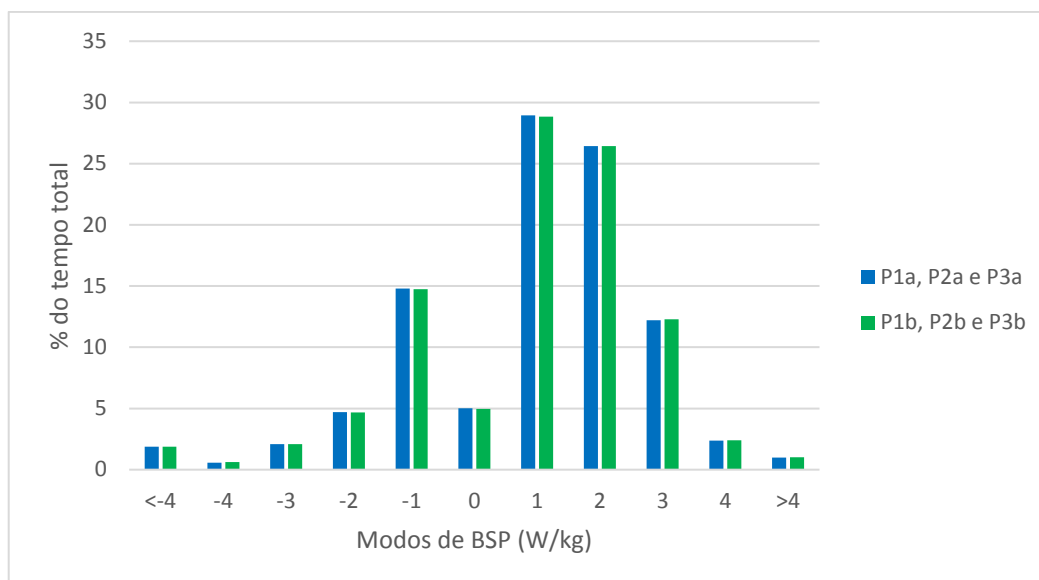


Figura 52 - Distribuição temporal (%) pelos diferentes modos de BSP para a cidade de Aveiro para percursos com início na Universidade de Aveiro e término na Estação de Comboios (P1a, P2a e P3a) a azul e para percursos com o sentido inverso ao anteriormente referido (P1b, P2b e P3b) a verde obtidos pelo ciclista 2.

Como foi referido anteriormente, na Figura 54 encontra-se uma análise em termos médios da distribuição temporal em percentagem pelos diferentes modos de BSP para os percursos em ambos os sentidos realizados na cidade de Aveiro.

Todavia, como seria de esperar, os percursos ainda que no mesmo sentido, apresentam algumas flutuações no que diz respeito à distribuição dos tempos pelos diferentes modos de BSP e dessa forma, com o objetivo de evidenciar essas flutuações causadas por vários fatores, nomeadamente a própria topografia de cada percurso individualmente, serão exibidas em seguida, duas figuras de carácter idêntico à Figura 54, onde se fará uma análise comparativa entre os percursos com início na Universidade de Aveiro e fim na Estação de Comboios, ou seja, entre os percursos P1a, P2a e P3a e do mesmo modo se fará uma análise comparativa entre os percursos com o sentido inverso, fazendo parte deste conjunto os percursos P1b, P2b e P3b.

De realçar que os percursos monitorizados na cidade de Aveiro, tal como foi referido anteriormente, foram escolhidos por forma a cobrir as opções de que dispunha a Câmara Municipal para a construção de uma ciclovia que permitisse a ligação entre a Universidade de Aveiro e a Estação de Comboios, sendo esta uma análise que incidirá sobretudo no que diz respeito ao tempo necessário para a realização do percurso, esforço físico associado a cada percurso em análise e a densidade de tráfego que cada possui, não tendo sido considerados para este estudo parâmetros de cariz turístico ou outros. Assim, apresenta-se em seguida para cada percurso em estudo, a distribuição temporal em percentagem pelos diferentes modos de BSP.

Na Figura 55 encontra-se representada a distribuição temporal em percentagem pelos diferentes modos de BSP para os percursos que têm início na Universidade de Aveiro e fim na Estação de Comboios, sendo que fazem parte deste conjunto os percursos P1a, P2a e P3a.

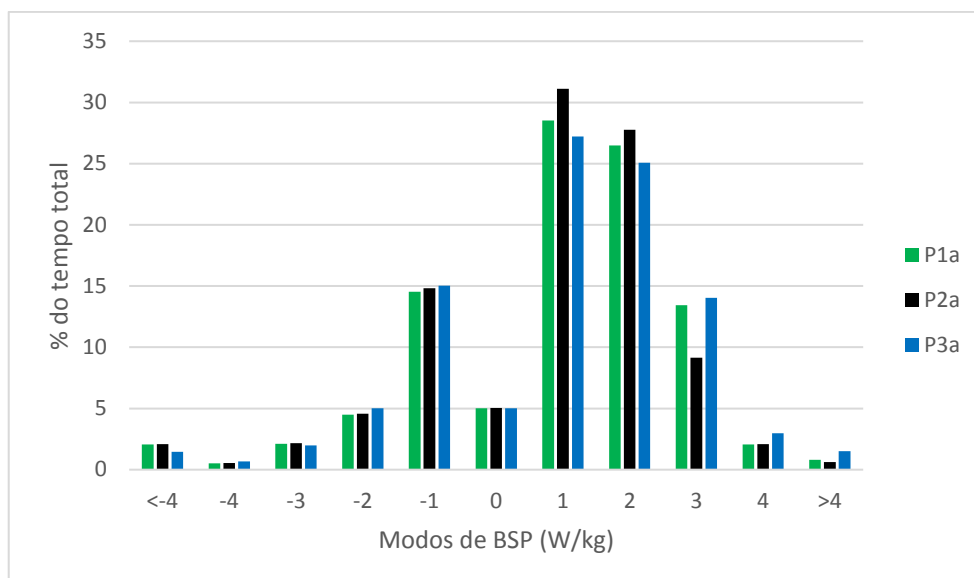


Figura 53 - Distribuição temporal (%) pelos diferentes modos de BSP para os percursos P1a, P2a e P3a obtidos pelo ciclista 2.

Pela análise da Figura 55 é possível concluir que os modos positivos de BSP se encontram largamente representados em ambos os percursos em análise, havendo, no entanto, algumas flutuações que serão abordadas com mais detalhe já de seguida. No que diz respeito à representação dos modos positivos de BSP como um todo verifica-se que o percurso P1a, percurso que tem como ponto de partida a Universidade de Aveiro e como destino a Estação de Comboios, passando pelo Alboi, é aquele que apresenta uma maior representatividade destes modos, perfazendo um total de 71,3% de tempo de viagem, sendo este valor apenas 0,8% superior ao obtido para o percurso P2a, percurso que possui os mesmos pontos de partida e chegada que o anterior mas que apresenta uma passagem pela Avenida de Santa Joana, uma vez que este apresenta uma representação de 70,7% destes modos. Relativamente ao percurso P3a, o percurso P1a apresenta uma representação dos modos positivos de BSP apenas 0,7% superior a este, uma vez que este apresenta uma representatividade destes modos igual a 70,80%. Dado que os modos positivos de BSP representam os modos de BSP onde é exigido esforço físico ao ciclista, daqui se retira que o ciclista executa esforço físico em aproximadamente 71% do tempo total associado à execução dos percursos, notando-se que pelo facto do percurso P2a ser aquele que apresenta uma menor representação destes modos (70,7%) e dado que este percurso apresenta um tempo de execução média igual a 429,7 segundos, pode-se retirar que este percurso será dos 3 em análise, aquele a que estará associado um menor consumo de energia por parte do ciclista como será comprovado mais adiante com os dados relativos ao consumo de energia para cada percurso.

Importa também referir que os modos 1 e 2 de BSP em conjunto representam mais de metade do tempo necessário à realização dos percursos e sendo estes modos representativos de requisição de baixas potências ao ciclista (inferiores a 160 W), daqui se conclui que o ciclista se desloca maioritariamente em regimes suaves dado que dos 71% em que a este é requisitado esforço físico, mais de 50% é passado nos modos 1 e 2, o que permite retirar que os modos positivos superiores que são representativos da exigência de maiores potências ao ciclista se encontram representados em menos de 20% do tempo total associado à realização das diferentes travessias. Para este caso, o percurso P2a é aquele que apresenta uma maior representatividade dos modos 1 e 2 de BSP, perfazendo um total de cerca de 59%, o que é 7% superior face ao percurso P1a em que estes perfazem um total de 55% e 12,6% superior relativamente ao percurso P3a em que estes modos se encontram representados em 52,3% do tempo total associado à execução do mesmo. Assim, estes dados permitem uma vez mais concluir que o percurso P2a, percurso com início na Universidade

de Aveiro e fim na Estação de Comboios, passando pela Avenida de Santa Joana, é aquele em que o ciclista efetua a sua deslocação durante um maior período de tempo percentual de forma mais suave, uma vez que neste caso os modos elevados de BSP, isto é, os modos 3, 4 e >4 se encontram representados em apenas cerca de 12% do tempo total necessário à realização deste percurso, o que é muito inferior aos 16,3% obtidos para o percurso P1a e aos 18,5% obtidos para o percurso P3a. Por oposição, o percurso P3a, percurso com ponto de partida na Universidade de Aveiro e fim na Estação de Comboios, passando pelo Centro de Congressos, é aquele que exige ao ciclista um maior esforço físico uma vez que embora a distribuição temporal em percentagem da requisição de esforço físico, isto é, a representação dos modos positivos seja semelhante para ambos os percursos, este não só possui o maior tempo necessário à realização do mesmo o que por conseguinte terá como consequência o consumo de maior energia, como também é aquele em que os modos elevados de BSP se encontram mais representados, aproximadamente 18,5% do tempo total, o que é superior aos restantes percursos em análise.

No que concerne ao modo 0 de BSP que corresponde a situações em que o ciclista se encontra parado, este encontra-se representado aproximadamente em cerca de 5% do tempo total necessário à realização dos percursos. Porém, pelo facto de o percurso P2a ser aquele que apresenta um menor tempo necessário à sua realização, 429,7 segundos, daqui se retira que o ciclista se encontra parado neste percurso cerca de 22 segundos, enquanto que no percurso P1a apesar de o ciclista possuir a mesma representatividade do modo 0 de BSP, pelo facto deste percurso necessitar de 585,3 segundos em média para ser realizado, daqui se retira que o ciclista neste percurso se encontra em repouso por um período de tempo de aproximadamente 30 segundos e por último, dado que o percurso P3a é aquele que apresenta uma maior tempo associado à sua realização, 637 segundos, daqui se retira que este percurso que tem passagem pelo Centro de Congressos de Aveiro é aquele em que o ciclista se encontra em termos médios mais tempo parado, sendo esse período aproximadamente igual a 32 segundos. A ocorrência de paragens por um menor período de tempo do ciclista no percurso P2a face aos restantes reside em parte no facto de neste percurso apenas existir semáforos num único local, na Avenida Artur Ravara próximo do Parque Infante Dom Pedro, contrastando com o percurso P1a em que existe semáforos em 2 locais distintos na Avenida Dr. Lourenço Peixinho e com o percurso P3a em que existe 1 semáforo próximo do Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Aveiro (ISCA) e 1 semáforo próximo dos Bombeiros Velhos de Aveiro, que têm como consequência o aumento de paragens por parte do ciclista o que se traduzirá num maior período de tempo de repouso.

No que se refere ao modo BSP>4, é possível constatar que este encontra uma representação diminuta nos 3 percursos em análise, embora se verifiquem flutuações acentuadas na sua representação de percursos para percurso. Com efeito, o percurso P1a apresenta um tempo de viagem associado a este modo de apenas 0,8%, o que ainda assim é 29% superior ao verificado para o percurso P2a que apresenta o menor valor dos 3 percursos, perfazendo um total de 0,6% de tempo total de percurso associado a este modo. O percurso P3a, percurso que tem como início a Universidade de Aveiro e fim a Estação de Comboios, passando pelo Centro de Congressos, é aquele que apresenta uma maior representatividade deste modo, sendo esta de 1,5% o que é cerca de 2,4 vezes superior ao observado para o percurso P2a e 1,9 vezes superior ao verificado para o percurso P1a. A diminuta representação deste modo prende-se com o facto de este estar associado à requisição de potências elevadas, superiores a 310 W, o que é difícil de atingir por um longo período por ciclistas não profissionais. Porém, como já foi referido anteriormente e será analisado com mais detalhe à posteriori, o percurso P3a como é aquele que exige um maior esforço físico ao ciclista devido à topografia que apresenta, é também aquele que consequentemente requisita ao ciclista potências mais elevadas, que culminarão no aumento da representatividade de modos positivos elevados de BSP, como se verifica.

Por fim, no que diz respeito à representação dos modos negativos de BSP, pode afirmar-se que o percurso P2a é aquele que apresenta um maior tempo associado a estes, com um total de

24,2 % do tempo total necessário à realização do percurso, sendo este valor 2,2 % superior ao verificado para o percurso P1a e apenas 0,2 % superior ao verificado para o percurso P3a. Uma vez que os modos negativos de BSP correspondem a situações de travagem ou desaceleração por parte do ciclista, verifica-se que o percurso P2a, percurso que tem passagem pela Avenida de Santa Joana é aquele que possui uma maior distribuição temporal em percentagem por estes modos, sendo que esta não é tanto causada por situações de desaceleração dado que os locais por onde este passa ainda não o requisitam mas sim por situações de travagem devido à presença de alguns estacionamentos e manobras indevidas sobretudo na Avenida Artur Ravara e Avenida de Santa Joana que obrigam o ciclista a efetuar por diversas vezes travagens, algumas de carácter repentino. No que diz respeito ao percurso P1a, a causa desta principal desta percentagem apresentada é também a necessidade de travagem por parte do ciclista causada sobretudo por uma condução algo indevida por parte de alguns condutores de automóveis ligeiros e autocarros na Avenida Dr. Lourenço Peixinho, o que leva uma vez mais a travagens por parte do ciclista. Por último, no percurso P3a, percurso que tem passagem pelo Centro de Congressos, esta distribuição temporal pelos modos negativos de BSP é devida não a situações de travagem pois estas verificam-se essencialmente próximas das rotundas situadas nas imediações do Centro de Congressos e na rotunda próxima do supermercado Pingo Doce, mas sim de desaceleração, nomeadamente na subida existente entre o supermercado Pingo Doce e a Estação de Comboios, situada na Rua do Sr. dos Aflitos que devido à acentuada inclinação que apresenta, leva a situações de desaceleração durante um período relativamente prolongado de tempo que contribui para este valor encontrado, sendo esta e outras desacelerações efetuadas ao longo deste percurso uma repercussão das características deste que provocam algum cansaço ao ciclista e deste modo isso tem reflexão nos dados obtidos.

Em seguida, de modo análogo ao apresentado anteriormente na Figura 55, dá-se a conhecer a Figura 56 onde se encontra feita a distribuição temporal em termos percentuais pelos diferentes modos de BSP para os percursos com ponto de partida na Estação de Comboios e destino na Universidade de Aveiro, dos quais fazem parte os percursos P1b, P2b e P3b.

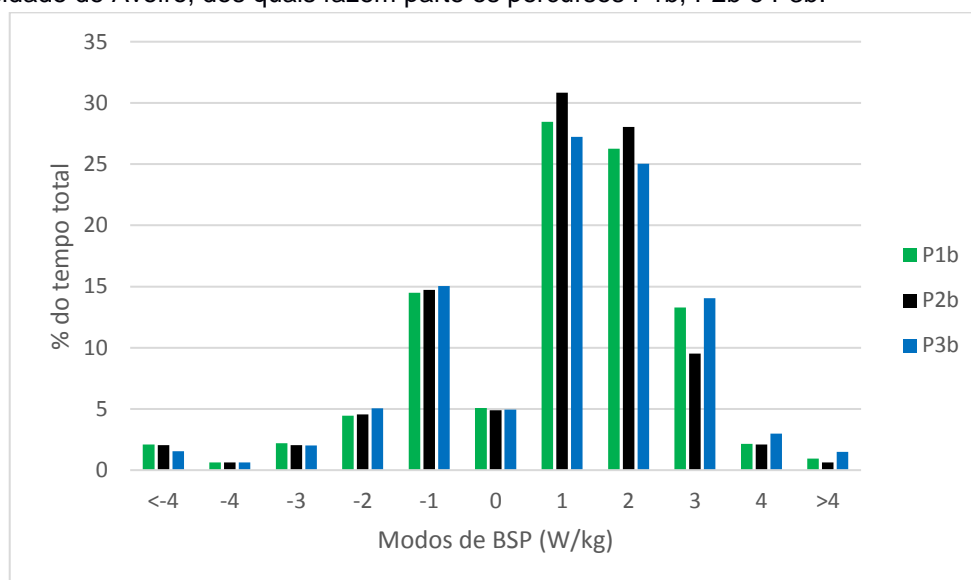


Figura 54 - Distribuição temporal (%) pelos diferentes modos de BSP para os percursos P1b, P2b e P3b obtidos pelo ciclista 2.

Através da análise da Figura 56 é possível constatar que os modos positivos de BSP apresentam uma elevada representatividade em ambos os percursos em análise, existindo, no entanto, alguma discrepância em determinados modos entre diferentes percursos, o que levará a uma análise mais meticulosa que será feita em seguida.

No que concerne à representatividade dos modos positivos de BSP, verifica-se que é o percurso P2b aquele que apresenta um maior valor, 71,1%, sendo este apenas 0,04% superior ao valor obtido para o percurso P1b e 0,5% superior ao registado para o percurso P3b. Pelo facto de os modos positivos de BSP representarem os modos de BSP onde é exigido esforço físico ao ciclista, daqui se retira que durante a realização de todos os percursos em análise (P1b, P2b e P3b), em cerca de 71% do tempo total associado à realização dos mesmos é requisitado esforço físico ao ciclista por forma a executar a sua deslocação. É também possível retirar que o percurso P2b, percurso que tem como ponto de partida a Estação de Comboios e como destino a Universidade de Aveiro, passando pela Avenida de Santa Joana é aquele que requer ao ciclista durante um maior período de tempo percentual esforço físico, face aos restantes percursos, embora, como se verá mais adiante, esse esforço físico por estar distribuído em modos positivos de BSP menores terá como consequência uma abaixamento da requisição de esforço ao ciclista neste percurso, o que não se verifica nos restantes. Por último, importa referir que embora o percurso P2b seja aquele que apresenta em termos percentuais uma maior representatividade dos modos positivos de BSP, pelo facto de este ser o percurso que apresenta um menor tempo necessário à sua realização, será também aquele que dos 3 percursos em análise terá associado um menor consumo de energia, uma vez que este percurso é em média executado em 475,7 segundos, sendo cerca de 116 segundos mais célere do que o percurso P1b, percurso que tem como ponto de partida a Estação de Comboios e destino a Universidade de Aveiro passando pelo Alboi e cerca de 152 segundos mais rápido do que o percurso P3b que tem como ponto de partida e chegada os mesmos que os anteriores, mas que passa pelo Centro de Congressos de Aveiro.

A representatividade dos modos 1 e 2 de BSP é também um fator importante uma vez que estes em conjunto perfazem mais de metade do tempo necessário à realização de ambos os percursos em análise e pelo facto de estes modos corresponderem a potências baixas, inferiores a 160 W, daqui se retira que o ciclista consegue efetuar a sua deslocação em qualquer dos percursos em análise maioritariamente a um ritmo suave, dado a elevada expressão que possuem estes modos no tempo total necessário à realização dos percursos. Posto isto, e visto que os percursos apresentam uma representatividade dos modos positivos de cerca de 71%, é possível deduzir que pelo facto de em mais de 50% do tempo total necessário à realização dos percursos ser passado nos modos 1 e 2 de BSP, o ciclista consegue efetuar as diversas travessias maioritariamente a um ritmo moderado, sempre com potências inferiores a 160 W, uma vez que apenas 12,6% é exigido potências superiores em menos de 20% do tempo total associado à realização dos diversos percursos. Neste caso em concreto, verifica-se pela análise do gráfico que é o percurso P2b aquele que apresenta uma maior representatividade dos modos 1 e 2 de BSP, perfazendo um total de cerca de 59% do tempo associado de viagem, sendo este valor 7,6% superior ao verificado para o percurso P1b que apresenta uma representação destes modos de 54,7% e 12,7% superior ao registado para o percurso P3b que apresenta uma representatividade destes modos de 52,3%. Desta forma, estes dados permitem uma vez mais concluir que o percurso P2b, percurso com início na Estação de Comboios e fim na Universidade de Aveiro, passando pela Avenida de Santa Joana, é aquele que permite ao ciclista efetuar a sua deslocação por um maior período de tempo percentual face aos restantes percursos, uma vez que dos 71,1% referentes ao tempo em que lhe é exigido esforço físico, apenas em 12,6% este se encontra em modos positivos elevados de BSP, que são modos onde o esforço físico requerido ao ciclista é elevado. De referir ainda que no caso do percurso P1b, o ciclista dos 71,1% que passa a despende o seu esforço físico, apenas se encontra 16,4% do tempo total em modos positivos elevados de BSP e no percurso P3b dos 70,8% referentes ao tempo em que é exigido ao ciclista esforço físico, o ciclista encontra-se em modos positivos elevados de BSP em 18,5% do tempo total associado à realização do percurso. Por esta razão, conclui-se que o percurso P3b, percurso que tem como ponto de partida a Estação de Comboios e destino a Universidade de Aveiro, passando pelo Centro de Congressos, é aquele que requer ao ciclista durante um esforço físico elevado, isto é, se encontra em modos positivos elevados

de BSP, durante um maior período de tempo, o que tem como consequência um maior consumo de energia como veremos mais adiante nesta análise.

No que diz respeito ao modo 0 de BSP que é representativo de situações em que o ciclista se encontra em repouso, este possui uma representação de cerca de 5% nos diversos percursos em estudo, o que indica, como referido anteriormente, que o ciclista se encontra parado, em termos médios, em cerca de 5% do tempo total necessário à realização dos diferentes percursos. Todavia, pelo facto de os percursos necessitarem de diferentes tempos necessários à sua realização e como o percurso P2b é dos 3 percursos em análise, aquele que possui um menor tempo de realização, 475,7 segundos, daqui se conclui que o ciclista neste caso estará um menor tempo parado, cerca de 24 segundos, face aos restantes percursos. Por oposição, verifica-se de forma análoga que sendo percurso P3b, percurso que tem como ponto de partida a Estação de Comboios e como destino a Universidade de Aveiro, passando pelo Centro de Congressos, aquele que apresenta um maior tempo médio necessário à sua realização e como a representatividade do modo 0 de BSP é, tal como nos restantes percursos, cerca de 5%, daqui se retira que neste percurso, o ciclista se encontra em média parado durante 31 segundos dos 627 segundos associados ao tempo total necessário à realização do mesmo. Entre estes períodos em que o ciclista se encontra parado surge o percurso P1b que contabiliza um período médio de paragem de aproximadamente 30 segundos face aos 591,7 segundos de tempo médio associado à realização deste percurso. De notar que a existência de paragens por um menor período de tempo no percurso P2b face aos restantes percursos reside em parte no facto, tal como se verifica para o percurso correspondente em sentido inverso, em apenas existir semaforização num único local, na Avenida Artur Ravara próximo do Parque Infante Dom Pedro, o que tal não se verifica nos restantes percursos. Com efeito, para o percurso P1b, percurso com ponto de partida na Estação de Comboios e destino na Universidade de Aveiro, passando pelo Alboi, verifica-se a existência de semáforos em 2 locais na Avenida Dr. Lourenço Peixinho por onde este passa, o que provoca inevitavelmente um aumento do tempo de paragem associado a esta viagem. Por último, para o percurso P3b, percurso que tem início na Estação de Comboios e fim na Universidade de Aveiro, passando pelo Centro de Congressos, constata-se a existência de 2 semáforos em locais distintos, sendo um deles próximo das instalações dos Bombeiros Velhos de Aveiro e outro junto às instalações do Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Aveiro (ISCA), o que, tal como no caso anterior, se traduzem num aumento do tempo de paragem do ciclista.

No que se refere ao modo BSP>4, é possível verificar que este apresenta uma diminuta representatividade para todos os percursos em análise, conquanto existam acentuadas variações na sua representação consoante o percurso analisado. Assim, pela análise da figura 4.1-4 é possível verificar que o percurso P2b é dos 3 aquele que apresenta uma menor representatividade deste modo, sendo que este perfaz apenas um total de 0,6% de tempo total associado à realização deste percurso. Por oposição, para o percurso P3b, percurso com início na Estação de Comboios e fim na Universidade de Aveiro, passando pelo Centro de Congressos, é aquele que apresenta uma maior representatividade deste modo, sendo esta de 1,5%, valor que é cerca de 2,4 vezes superior ao obtido para o percurso P2a, percurso que tem como ponto de partida a Estação de Comboios e chegada a Universidade de Aveiro, passando pela Avenida de Santa Joana e verifica-se ainda que este valor é aproximadamente 1,6 vezes superior ao observado para o percurso P1b, percurso com início na Estação de Comboios e fim na Universidade de Aveiro, passando pelo Alboi, onde o tempo total associado a este modo corresponde a 1% do tempo total necessário para realizar esta travessia. De referir que a escassa representatividade deste modo elevado de BSP se encontra relacionada com o facto deste modo estar associado à requisição de potências elevadas, superiores a 310 W, ao ciclista, o que são valores difíceis de atingir por um longo período por ciclistas não profissionais. Todavia, como já se verificou anteriormente e será analisado com maior detalhe, como o percurso P3b é dos 3 percursos em análise aquele que exige um maior esforço físico ao ciclista devido às características que apresenta, é deste modo também aquele que por consequência

requisita ao ciclista potências mais elevadas, que culminarão no aumento da representatividade dos modos positivos elevados de BSP, como se verifica.

Por último, no que concerne à representatividade dos modos negativos de BSP, verifica-se que o percurso P1b é aquele que apresenta um menor tempo associado a estes, perfazendo um total de 23,8% do tempo total necessário para a realização do mesmo, sendo este valor 0,6% inferior ao registado para o percurso P2b e cerca de 2% inferior ao obtido para o percurso P3b. Visto que os modos negativos de BSP correspondem a situações de travagem ou desaceleração por parte do ciclista, é possível concluir que o percurso P3b é aquele que apresenta por um maior período de tempo situações deste tipo, embora neste percurso esse período de tempo não esteja tanto associado a situações de travagem devido à ausência de necessidade por parte do ciclista por ser uma travessia maioritariamente suave no que diz respeito a tráfego mas sim devido a desacelerações efetuadas pelo ciclista com o intuito de descansar devido a alguns troços existentes no percurso, nomeadamente na subida existente na Rua Manuel J. Braga Alves, que devido à inclinação acentuada que apresenta, faz com que se registem sucessivas desacelerações por parte do ciclista que afetarão o resto da realização do percurso devido ao cansaço que provoca. Por outro lado, no percurso P1b, percurso com início na Estação de Comboios e fim na Universidade de Aveiro, passando pelo Alboi, verifica-se que a percentagem de tempo total associada a estes modos é de 23,8%, valor este que resulta maioritariamente de travagens que o ciclista realiza devido essencialmente a manobras imprudentes efetuadas por condutores essencialmente na Avenida Dr. Lourenço Peixinho bem como devido ao acentuado tráfego que se faz sentir nesta que tem como consequência uma maior necessidade de efetuar travagens por parte do ciclista. Neste percurso não se verificam grandes necessidades de desaceleração dado o percurso ser relativamente suave em toda a sua extensão, não causando um esforço físico excessivo ao ciclista e deste modo não revelando necessidade de abrandamento por parte deste em determinados pontos do trajeto, verificando-se apenas alguma desaceleração por parte do ciclista na estrada N235 entre a Fábrica da Ciência Viva e a rotunda do Hospital Infante D. Pedro devido ao facto de ser um troço com alguma inclinação e que é agravado pelo facto de já ser no fim de percurso e o ciclista se encontrar com maior cansaço, o que resulta numa contribuição para a percentagem de tempo associada a estes modos de BSP. Por fim, no que diz respeito ao percurso P2b, percurso com início na Estação de Comboios e término na Universidade de Aveiro, passando pela Avenida de Santa Joana, verifica-se que a percentagem de 24% obtida associada a modos negativos de BSP é maioritariamente, tal como para o percurso P1b, causada pela condução descuidada e densidade de tráfego, porém, neste percurso, alguma parte desta representatividade deve-se à subida algo acentuada verificada na Avenida 5 de Outubro, junto da Catedral de Aveiro ou mais usualmente conhecida por Igreja de São Domingos, que devido às suas características provoca alguma desaceleração continua por parte do ciclista que culmina num aumento da percentagem de tempo associado a estes modos.

Anexo B.2 – Resultados para a potência específica nas bicicletas (BSP) no Porto para o ciclista 3

De forma análoga ao que foi feito nos subcapítulos 4.1-1, 4.1-2 e Anexo B.1, encontram-se resumidos na Tabela 28 os resultados da estatística de cada viagem realizada na cidade do Porto obtidos pelo ciclista 3, sendo que a recolha de dados por parte deste para a cidade do Porto teve a duração aproximada de 1,5 horas, o que corresponde a 5 422 segundos de monitorização dos diversos percursos, tendo as variáveis apresentadas na tabela sido recolhidas através do equipamento GNSS utilizado durante a aquisição de dados.

Tabela 28 - Estatística de viagem para os diversos percursos realizadas na cidade do Porto pelo ciclista 3.

Percurso	P4a	P4b	P5a	P5b	P6a	P6b
Veículo	BC	BC	BC	BC	BC	BC
Número de viagens	1	1	1	1	1	1
Distância do percurso (km)	2,26	1,57	2,36	1,62	2,49	2,06
Tempo para a realização do percurso (segundos)	1000,0	640,0	1066,0	714,0	1299,0	951,0
Inclinação média positiva (%)	12,0	8,0	12,0	9,0	12,0	10,0
Inclinação média negativa (%)	-13,0	-9,0	-10,0	-10,0	-11,0	-12,0
Velocidade média (km/h)	8,13	8,83	7,97	8,16	6,89	7,79
Velocidade máxima (km/h)	26,08	26,06	20,11	26,97	25,35	27,47

Pela análise da Tabela 28 é possível verificar que todos os percursos realizados na cidade do Porto foram monitorizados com recurso à bicicleta BC, bicicleta convencional, por forma a garantir as mesmas condições de monitorização e por conseguinte uma melhor comparação entre os diferentes trajetos em análise. De referir que devido à dificuldade em realizar medições na cidade do Porto, como foi referido anteriormente, o ciclista 3 apenas realizou 1 medição para cada trajeto em estudo, tendo sido realizadas as restantes medições para estes mesmos trajetos pelo ciclista 1.

No que diz respeito ao tempo necessário à realização dos percursos, é possível observar que, através da análise da Tabela 28, o percurso P4a, percurso que tem como ponto de partida a Avenida dos Aliados e como ponto de chegada os Jardins do Palácio de Cristal, passando pelo Jardim do Carregal, é dos 3 percursos realizados neste sentido, aquele que apresenta um menor tempo necessário para a sua realização, cerca de 1000 segundos, sendo este valor 6,6% inferior ao obtido para o percurso P5a, percurso que tem início e término nos mesmos locais que o anterior mas que passa pelo Jardim da Cordoaria, que apresenta um tempo necessário à sua realização de cerca de 1066 segundos, e 30% inferior ao obtido para o percurso P6a, percurso que tem, tal como os anteriores, início na Avenida dos Aliados e fim nos Jardins do Palácio de Cristal, mas que passa pela Igreja da Santíssima Trindade, uma vez que este apresenta o maior tempo necessário à sua realização, sendo este de aproximadamente 1299 segundos. De notar que o facto do percurso P4a ser aquele que apresenta um menor tempo necessário à sua realização encontra-se em parte ligado à extensão que apresenta, dado que o percurso P4a é aquele que apresenta a menor extensão dos 3 percursos em análise com este sentido, o que contribui largamente para a obtenção de um menor tempo necessário à sua realização. Para além disso, é possível verificar que é o percurso que apresenta um maior valor de inclinação média negativa, isto é, apresenta uma maior acentuação no que diz respeito a descidas existentes ao longo do trajeto, o que favorece a prática do ciclismo e permite que o ciclista atinja nestas velocidades superiores face aos restantes percursos, sendo tal dado sustentado pelo valor obtido para a velocidade média, que para o percurso P4a é de 8,1 km/h, valor que é superior ao encontrado para os percursos P5a e P6a.

No que concerne aos percursos em sentido inverso, isto é, aos percursos que têm como ponto de partida os Jardins do Palácio de Cristal e como ponto de chegada a Avenida dos Aliados, percursos estes representados pela letra “b”, verifica-se que o percurso P4b, percurso que tem passagem pelo Jardim do Carregal, é aquele que apresenta um menor tempo necessário à sua realização, aproximadamente 640 segundos, sendo este valor 11,6% inferior ao obtido para o percurso P5b, percurso que tem passagem pelo Jardim da Cordoaria, onde o tempo necessário para a sua realização é de cerca de 714 segundos e 48,6% inferior ao registado para o percurso P6b, percurso que tem passagem pela Igreja da Santíssima Trindade, onde se verifica um tempo necessário à sua realização de aproximadamente 1299 segundos. Este resultado em parte é devido à menor extensão que o percurso P4b apresenta face aos restantes percursos em análise, sendo a sua extensão de 1,57 km, valor que é 3,2% inferior ao obtido para o percurso P5b onde se regista

uma extensão de 1,62 km e 31,2% inferior ao percurso P6b que possui uma extensão de 2,06 km. De notar também que no que concerne aos valores de velocidade média obtida para os diversos percursos com início nos Jardins do Palácio de Cristal e fim na Avenida dos Aliados, é possível concluir que o percurso P4b é aquele que apresenta um maior valor, 8,8 km/h, sendo este valor 8,2% superior ao obtido para o percurso P5b que apresenta uma velocidade média de deslocação de 8,2 km/h e 13,4% superior ao registado para o percurso P6b que apresenta uma velocidade média de 7,8 km/h.

No que se refere ao parâmetro inclinação média positiva, parâmetro apresentado em percentagem, é possível verificar que os 3 percursos com início na Avenida dos Aliados, e fim nos Jardins do Palácio de Cristal, isto é, que os percursos P4a, P5a e P6a apresentam o mesmo valor, sendo este igual a 12%. Porém, no que diz respeito aos percursos em sentido inversos, isto é, aos percursos P4b, P5b e P6b, encontram-se flutuações e que, por conseguinte, serão alvo de análise já em seguida.

Com efeito, para o conjunto de percursos com início nos Jardins do Palácio de Cristal e fim na Avenida dos Aliados, dos quais fazem parte os percursos P4b, P5b e P6b, verifica-se que o percurso P4b, percurso que passa pelo Jardim do Carregal, é aquele que apresenta um menor valor de inclinação positiva, 8%, sendo este valor 12,5% inferior ao obtido para o percurso P5b, percurso que tem passagem pelo Jardim da Cordoaria e 25% inferior ao valor obtido para o percurso P6b, percurso que passa pela Igreja da Santíssima Trindade. Uma vez que a inclinação média positiva é representativa da inclinação média positiva das vias constituintes dos diversos trajetos, isto é, da acentuação das subidas que estes possuem, verifica-se que o percurso P4b é aquele que permite ao ciclista uma deslocação de uma forma mais suave, uma vez que as subidas que este trajeto possui são menos acentuadas relativamente aos restantes percursos, sendo tal comprovado pela obtenção de um menor valor de inclinação média positiva para este percurso face aos restantes. Por contraste, surge o percurso P6b que apresenta o maior valor de inclinação média positiva, o que quer dizer que este é o percurso que de uma forma geral apresenta subidas mais acentuadas ao longo do seu trajeto e que, por conseguinte, exige um esforço físico adicional por parte do ciclista, sendo este esforço comprovado pelos dados correspondentes ao consumo de energia que serão apresentados mais à frente.

No que diz respeito ao parâmetro inclinação média negativa, verifica-se que o percurso P4a, percurso com início na Avenida dos Aliados e fim nos Jardins do Palácio de Cristal, com passagem pelo Jardim do Carregal, é aquele que apresenta um maior valor associado a este parâmetro, -13%, sendo este valor 30% superior ao obtido para o percurso P5a, percurso que tem os mesmos pontos de início e fim que o referido anteriormente, mas que tem passagem pelo Jardim da Cordoaria, uma vez que este apresenta um valor de inclinação média negativa de -10% e 18,2% superior ao valor obtido para o percurso P6a, percurso que tem passagem pela Igreja da Santíssima Trindade, onde se regista um valor de -11% para este parâmetro. Sendo o valor da inclinação média negativa representativo da existência de vias com maior ou menor inclinação negativo, isto é, de descidas mais ou menos acentuadas, caso seja um valor negativo elevado ou baixo, respetivamente, é possível retirar que o percurso P4a é aquele que apresenta de uma forma geral descidas mais acentuadas, o que facilita deste modo a prática do ciclismo e permite a obtenção de uma maior velocidade média de deslocação, o que contribui deste modo para a obtenção de um menor tempo necessário para a sua realização. O percurso P5a, percurso que tem passagem pelo Jardim da Cordoaria, apresenta um valor menor deste parâmetro, -10%, que tem como consequência uma maior exigência de esforço físico ao ciclista e que culmina na obtenção de um menor valor de velocidade média de deslocação. Por fim, verifica-se que para o percurso P6a, apesar de apresentar um valor intermédio deste parâmetro, -11%, face aos restantes percursos em análise, é aquele que apresenta uma menor velocidade média de deslocação, sendo que neste caso tal facto é devido a causas diversas, das quais podemos destacar uma maior extensão do percurso que causa maior cansaço no ciclista e o leva a abrandar o seu ritmo e a existência de uma subida

acentuada logo no início do percurso pela Avenida dos Aliados que continua pela Rua da Trindade e Rua de Camões que provoca um cansaço elevado ao ciclista que tem como consequência um abrandamento do seu ritmo natural e que se reflete no valor da velocidade média de deslocação, sendo por isso o percurso que dos 3 apresenta um menor valor deste parâmetro.

No que se refere ao valor do parâmetro inclinação média negativa para os percursos P4b, P5b e P6b, é possível verificar que o percurso P4b é aquele que apresenta um menor valor, -9%, sendo este cerca de 11% inferior ao valor obtido para o percurso P5b, onde se regista um valor de -10% e 33,33% inferior ao verificado para o percurso P6b onde se regista um valor de -12%. Desta forma, é possível afirmar que o percurso P6b, percurso que tem início nos Jardins do Palácio de Cristal e fim na Avenida dos Aliados, passando pela Igreja da Santíssima Trindade, é aquele que apresenta descidas com maior acentuação ao longo da sua extensão, o que permite ao ciclista atingir velocidades superiores de deslocação, sendo por isso o percurso que apresenta o valor mais elevado de velocidade máxima, 27,5 km/h, valor este que é superior aos encontrados para os percursos P4b e P5b, sendo este valor obtido no final da Rua de Camões, imediatamente antes da necessidade de travagem devido aos semáforos aí existentes. É possível referir ainda que o valor de velocidade máxima obtido para o percurso P5b é de 27 km/h, o que é o valor intermédio entre os percursos P4b e P6b, dado que a inclinação média das descidas para este percurso também apresenta um valor intermédio entre estes mesmos percursos, o que permite retirar que a acentuação das descidas dos percursos encontra-se fortemente ligada à obtenção de uma maior ou menor velocidade máxima de deslocação, consoante se tratem de inclinações mais ou menos acentuadas. Por último, surge o percurso P4b onde se regista o valor mais modesto de inclinação média negativa, -9%, o que tem como consequência o facto de este ser o percurso onde se atinge o menor valor de velocidade máxima de deslocação relativamente aos percursos P5b e P6b.

No que diz respeito ao parâmetro velocidade média, é possível concluir que para o conjunto de percursos com início na Avenida dos Aliados e fim nos Jardins do Palácio de Cristal, do qual fazem parte os percursos P4a, P5a e P6a, o percurso P4a, percurso que tem passagem pelo Jardim do Carregal, é aquele que apresenta um valor de velocidade média maior, 8,1 km/h, sendo este valor obtido 2% superior ao registado para o percurso P5a, percurso que tem passagem pelo Jardim da Cordoaria, que apresenta um valor de velocidade média de deslocação de 8 km/h e cerca de 18% superior ao valor obtido para o percurso P6a, percurso que tem passagem pela Igreja da Santíssima Trindade, onde se regista um valor de 6,9 km/h. Este resultado é concordante com os resultados obtidos para os valores de inclinação média positiva e negativa de cada percurso, uma vez que embora todos os percursos referidos anteriormente tenham o mesmo valor de inclinação média positiva, 12%, no que diz respeito ao valor de inclinação média negativa, isto é, ao valor associado à acentuação das descidas dos percursos, verifica-se que é o percurso P4a aquele que apresenta o maior valor, -13%, o que promove a prática do ciclismo e permite que o ciclista atinja com maior facilidade velocidades superiores de deslocação, o que terá por conseguinte a obtenção de uma maior velocidade média, tal como verificado pela análise da tabela 4.1-1. O percurso P5a, embora seja aquele que dos 3 percursos em análise possui o menor valor de inclinação média negativa, -10%, não é aquele que apresenta o menor valor de velocidade média, uma vez que neste percurso o ciclista se desloca de forma suave durante grande parte do percurso, sendo-lhe apenas requisitado um elevado esforço físico já perto do fim deste, mais precisamente na Rua Jorge de Viterbo Ferreira onde se localiza o Instituto de Ciências Biomédicas Abel-Salazar, que devido à acentuada inclinação que possui, tem como consequência num abrandamento de ritmo por parte do ciclista. Por oposição, o percurso P6a, percurso que tem passagem pela Igreja da Santíssima Trindade, é iniciado com a subida integral da Avenida dos Aliados, passando de seguida pela Rua da Trindade e posteriormente pela Rua de Camões, o que sendo tudo vias que apresentam inclinações acentuadas têm como consequência o aumento de cansaço ao ciclista que afetará a continuação do mesmo, e pelo facto de se localizar logo do início deste percurso, esta afetação será deveras significativa pois diminuirá o ritmo do ciclista durante um grande período de tempo o que

fará com que o valor de velocidade média obtido diminuía significativamente, sendo por este motivo o percurso P6a aquele que apresenta um menor valor de velocidade média de deslocação, devido essencialmente ao extremo cansaço provocado nas 3 ruas iniciais do percurso que condicionam o ritmo do ciclista.

No que concerne ao conjunto de percursos em sentido inverso, isto é, ao conjunto de percursos com ponto de partida nos Jardins do Palácio de Cristal e com ponto de chegada na Avenida dos Aliados, do qual são parte integrante os percursos P4b, P5b e P6b, verifica-se uma vez mais que é o percurso P4b, percurso que tem passagem pelo Jardim do Carregal, aquele que apresente o maior valor associado a este parâmetro, 8,8 km/h, sendo este 8,2% superior ao obtido para o percurso P5b, percurso que tem passagem pelo Jardim da Cordoaria, no qual se regista o valor de 8,2 km/h e 13,4% superior ao obtido para o percurso P6b, percurso que tem passagem pela Igreja da Santíssima Trindade, no qual se regista um valor de velocidade média de deslocação de 7,8 km/h. Aqui, tal resultado é conseguido devido essencialmente à topografia mais suave que o percurso P4b apresenta relativamente aos restantes percursos em análise, nomeadamente no que diz respeito à acentuação das subidas existentes ao longo da sua extensão, uma vez que estas apresentam uma menor inclinação face aos restantes percursos, permitindo deste modo ao ciclista deslocar-se a um ritmo superior, o que origina por conseguinte a obtenção de um maior valor de velocidade média de deslocação. Por oposição a este percurso, surge o percurso P6b, percurso que embora seja aquele que dos 3 percursos em análise possua descidas com maior inclinação, é também aquele que apresenta subidas mais acentuadas, sendo que, pelo facto de estas últimas estarem localizadas logo no início do percurso, nomeadamente na Rua da Boa Nova e na Rua da Maternidade, onde está localizada a Maternidade Júlio Dinis, o cansaço acrescido que provém da sua realização provoca no ciclista um abrandamento de ritmo por um longo período de tempo até recuperar o fôlego, o que culminará na obtenção de uma menor velocidade média de deslocação, fazendo deste modo com que este percurso seja não só aquele onde se verifica um maior tempo necessário à sua realização, bem como aquele onde se regista uma velocidade média de deslocação menor.

Por último, no que diz respeito às velocidades máximas atingidas para cada percurso em análise, verifica-se que este valor sofre variações significativas de percursos para percurso e por isso se torna alvo de análise, que será apresentada em seguida. Com efeito, para o conjunto de percursos com ponto de partida na Avenida dos Aliados e com ponto de chegada nos Jardins do Palácio de Cristal, do qual fazem parte os percursos P4a, P5a e P6a, é possível observar que o percurso P4a, percurso que tem passagem pelo Jardim do Carregal, é aquele que apresenta uma maior velocidade máxima, 26,1 km/h, sendo este valor cerca de 30% superior ao obtido para o percurso P5a, percurso que tem passagem pelo Jardim da Cordoaria, onde se verifica um valor de velocidade máxima de cerca de 20 km/h e 2,9% superior ao valor obtido para o percurso P6b, percurso que tem passagem pela Igreja da Santíssima Trindade, onde se verifica um valor de velocidade máxima de 25,4 km/h. De notar que para este caso, o facto de o percurso P6a ter uma velocidade inferior à registada para o percurso P4a reside no facto de se ter efetuado uma travagem brusca nas imediações da Maternidade Júlio Dinis devido à presença de uma ambulância, o que fez com este deixasse de ser o percurso onde se atingiu uma velocidade máxima maior, como foi verificado nas medições efetuadas pelo ciclista 1. No que concerne ao percurso P4a, o valor de velocidade máxima foi atingido na Rua de Dom Manuel II, imediatamente antes de se efetuar a travagem devido à existência de semáforos próximos da entrada principal dos Jardins do Palácio de Cristal, ponto de destino deste percurso. Por último, o valor de velocidade máxima para o percurso P5a foi registado na Rua da Restauração, imediatamente antes de se proceder à travagem com o intuito de se efetuar uma curva à direita e prosseguir o trajeto pela Rua Jorge de Viterbo Ferreira, onde está situado o Instituto de Ciências Biomédicas Abel-Salazar.

No que se refere ao conjunto de percursos com ponto de partida nos Jardins do Palácio de Cristal e com ponto de chegada na Avenida dos Aliados, dos quais fazem parte os percursos P4b,

P5b e P6b, pela análise da tabela B.2-1 é possível verificar que o percurso P6b, percurso que tem passagem pela Igreja da Santíssima Trindade, é aquele que apresenta o valor mais elevado deste parâmetro, 27,5 km/h, sendo este 5,4% superior ao obtido para o percurso P4b, percurso que tem passagem pelo Jardim do Carregal, onde se registou um valor de velocidade máxima de 26 km/h e 1,9% superior ao obtido para o percurso P5b, percurso que tem passagem pelo Jardim da Cordoaria, onde se verificou um valor de velocidade máxima de 30 km/h. Com efeito, o valor máximo obtido para o percurso P6b foi atingido perto do término da Rua de Camões, nas imediações da Igreja da Santíssima Trindade, no instante imediatamente anterior ao início da travagem devido à existência de semáforos nesse local. Para o percurso P4b, o valor de velocidade máxima foi atingido pelo ciclista no final da Rua de Elísio de Melo, próxima das instalações do Hotel Aliados, no instante imediatamente anterior ao início de travagem, por forma a se realizar mudança de sentido à esquerda por forma a se terminar este percurso. Por último, para o percurso P5b, o valor máximo de velocidade atingida pelo ciclista teve lugar perto do final da Rua Jorge de Viterbo Ferreira, no instante imediatamente anterior à realização de uma travagem intensa por forma a realizar uma curva à esquerda seguida de uma outra à direita, com o intuito de ingressar na Rua da Restauração, por onde o ciclista continuou a sua travessia. Verifica-se que os resultados obtidos se encontram de acordo com os valores obtidos para as inclinações médias negativas dos percursos em análise, uma vez que o percurso P6b é aquele que apresenta um maior valor de inclinação média negativa, isto é, apresenta descidas mais acentuadas ao longo da sua extensão, que permitem ao ciclista atingir velocidades superiores face aos restantes percursos em estudo. Por oposição, surge o percurso P4b, que pelo facto de apresenta o valor mais modesto de inclinação negativa, -9%, isto é, as descidas que se encontram ao longo da sua extensão são menos inclinadas, é também aquele que menos ajuda o ciclista a atingir velocidades elevadas, sendo por isso o percurso onde se regista o menor valor de velocidade máxima atingida pelo ciclista. Verifica-se que entre estes valores se situa o valor de velocidade máxima atingida pelo ciclista para o percurso P5b, que é também o percurso que apresenta um valor intermédio no que diz respeito à acentuação das descidas presentes ao longo da sua extensão.

Na Figura 57 apresenta-se a forma como a velocidade média registada pelo ciclista varia em função da inclinação da via em que se desloca. Com efeito, esta representação permite concluir que na presença de inclinações negativas acentuadas, isto é, na presença de descidas com elevada inclinação, a velocidade média do ciclista é mais elevada, sendo que este valor vai diminuindo à medida que esta inclinação se vai tornando cada vez menor, ou seja, à medida que o valor da inclinação vai decrescendo negativamente ou, melhor dizendo, aumentando positivamente, simbolizando a diminuição da inclinação das descidas presentes no percurso. Por sua vez, como seria de esperar, verifica-se que à medida que aumenta o valor de inclinação média positiva a velocidade média atingida pelo ciclista diminui, o que simboliza que à medida que a estrada vai possuindo vias com subidas cada vez mais íngremes, a velocidade registada pelo ciclista vai sendo sucessivamente menor, o que é essencialmente devido ao aumento de dificuldade de deslocação que vai sendo solicitado ao ciclista, que como seria expectável vai diminuindo o seu ritmo e consequente velocidade de deslocação, o que se traduz na representação da Figura 57 que pode ser vista em seguida.

Dessarte, com o intuito de fornecer um melhor entendimento ao leitor acerca da forma como a inclinação da via influencia a velocidade atingida pelo ciclista, apresenta-se em forma gráfica esta relação na Figura 57, onde se evidencia claramente esta relação bem como faz surgir algumas questões que serão explicadas em seguida à sua apresentação.

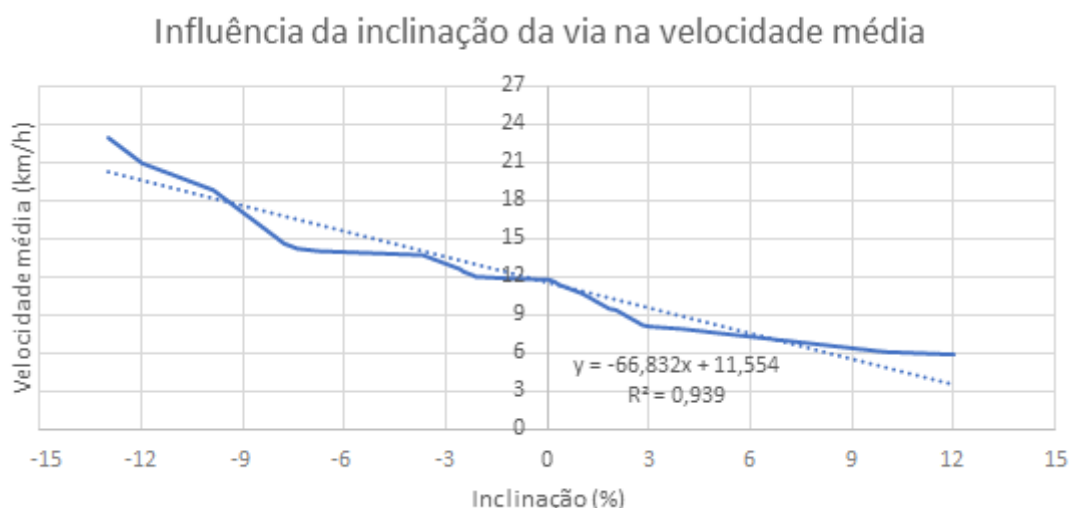


Figura 55 - Variação da velocidade média com a inclinação da estrada na cidade do porto obtida pelo ciclista 3.

Pela análise da Figura 57 é possível verificar que o valor de velocidade decresce à medida que o valor da inclinação aumenta, o que se encontra em concordância com o esperado. No que concerne aos valores negativos de inclinação, a diminuição negativa deste valor simboliza a diminuição da inclinação das descidas presentes ao longo do percurso, que pelo facto de se irem tornando cada vez menos acentuadas, vão facilitando cada vez menos a deslocação do ciclista, não facilitando que esta atinja velocidades de deslocação tão elevadas como aquelas que atinge na presença de descidas muito inclinadas, podendo-se destacar que para uma via com acentuada inclinação negativa, -12%, a velocidade média de deslocação do ciclista é de 20,9 km/h, valor este que é cerca de 23% superior ao obtido para um via com inclinação de -9%, na qual se regista uma velocidade média de deslocação de cerca de 17 km/h.

No que diz respeito aos valores positivos de inclinação, verifica-se que a velocidade vai sempre diminuindo à medida que aumenta o valor da inclinação, isto é, à medida que se acentuam as subidas existentes no percurso, porém, é possível observar que entre 0% e 3% de inclinação existe um decréscimo de velocidade muito superior aquele que é verificado para um mesmo tamanho de intervalo compreendido entre valores superiores de inclinação. A título de exemplo é possível verificar que o decréscimo de velocidade existente entre 0% e 3% é de 3,69%, passando de 11,8 km/h, velocidade que é obtida para uma situação de via plana, isto é, de inclinação 0% para 8,1 km/h, velocidade registada para inclinação de 3%. Verifica-se que para o intervalo compreendido entre 3% e 6%, esta diferença é muito inferior, aproximadamente 0,8 km/h, obtendo-se para uma inclinação de 6%, uma velocidade de deslocação de 7,3 km/h, o que permite concluir que para este intervalo o decréscimo é de sensivelmente 0,27 km/h por cada 1% de inclinação, valor que é muito inferior aos 1,23 km/h por cada 1% de inclinação de decréscimo que se observam para o intervalo entre 0% e 3%. Por último, tal como foi dito anteriormente esta variação de velocidade vai-se tornando cada vez menor para um mesmo tamanho de intervalo e tal é possível verificar para o intervalo entre 9% e 12%, onde se verifica uma variação de 0,5 km/h, passando-se de uma velocidade de 6,4 km/h obtida para um valor de inclinação de 9% para um valor de velocidade de 5,9 km/h que se obtém para um valor de inclinação de 12%, o que permite concluir que neste caso o decréscimo de velocidade por cada 1% de inclinação, regista o menor valor, verificando-se para este caso em concreto um decréscimo de aproximadamente 0,17 km/h por cada 1% de inclinação.

De seguida, com o intuito de fornecer um melhor entendimento acerca das velocidades médias obtidas pelo ciclista na presença de diferentes valores de inclinação, nomeadamente de

valores de inclinação negativa, neutra e positiva, apresenta-se a Tabela 29 onde é possível observar qual o valor de velocidade média obtida para cada tipo de via.

Tabela 29 - Relação entre a velocidade média registada e a inclinação da via na cidade do Porto obtida pelo ciclista 3.

Inclinação	Negativo	Neutro	Positivo
Velocidade média (km/h)	16,90	11,71	7,49

Através da análise da Tabela 29 é possível verificar que, tal como foi referido anteriormente e se encontra visível na Figura 57, para valores de inclinação negativa, isto é, na presença de descidas o ciclista regista um maior valor de velocidade média de deslocação face aos restantes cenários possíveis, observando-se um valor de 16,90 km/h para um intervalo inclinação compreendido entre -13% e 0%. De seguida surge o cenário de via plana, isto é, onde o valor de inclinação é de aproximadamente 0%, onde a velocidade média para este caso é de 11,7 km/h, valor que é 44,3% inferior ao registado para o caso de inclinação negativa. Por último, verifica-se que, tal como seria expectável, na presença de vias onde existem subidas, isto é, vias que apresentem valores de inclinação positivos, o valor de velocidade média registada pelo ciclista é o menor dos 3 casos possíveis, sendo este de 7,5 km/h, valor que é cerca de 2,3 vezes inferior ao obtido ao caso de inclinação negativa e 1,6 vezes inferior ao obtido para o caso de inclinação nula.

Importa ainda referir que se considerou um intervalo entre -1% e 1% de inclinação, para aferição do valor de velocidade média para vias planas, tendo-se chegado a um valor de 11,71 km/h.

Seguidamente à separação do BSP em modos (Tabela 13), procedeu-se à distribuição das cerca de 1,51 horas de aquisição de dados realizada pelo ciclista 3 na cidade do Porto, que correspondem a aproximadamente 5422 segundos de informação obtida em condições reais de operação, pelos diferentes modos de BSP definidos, permitindo deste modo conhecer a percentagem de tempo de percurso associada a cada modo, de acordo com a Figura 58.

Na Figura 58 encontram-se representados os dados médios obtidos para a percentagem de tempo total despendido em cada modo de BSP, sendo que essa média foi alvo de uma divisão em duas parcelas. Por um lado, as colunas representadas a azul na Figura 58 são representativas da média de tempo, em termos percentuais, despendido em cada modo de BSP, para o conjunto de percursos que têm como ponto de partida a Avenida dos Aliados e como ponto de chegada os Jardins do Palácio de Cristal, do qual fazem parte os percursos P4a, P5a e P6a. Por outro lado, as colunas a verde representadas na Figura 58 representam a média de tempo, sob a forma percentual, despendido em cada modo de BSP para o conjunto de percursos com início nos Jardins do Palácio de Cristal e fim na Avenida dos Aliados, sendo parte integrante deste os percursos P4b, P5b e P6b.

Efetuada uma análise comparativa entre as distribuições temporais pelos diferentes modos de BSP para os dois sentidos de viagem, é possível verificar que os modos positivos de BSP se encontram fortemente representados, perfazendo o valor de 74,4% do tempo total despendido na realização do conjunto de percursos com início na Avenida dos Aliados e fim nos Jardins do Palácio de Cristal, do qual fazem parte os percursos P4a, P5a e P6a e o valor de 74,3% do tempo total despendido no conjunto de percursos com início nos Jardins do Palácio de Cristal e fim na Avenida dos Aliados, do qual são parte integrante os percursos P4b, P5b e P6b. Dado que os modos positivos de BSP são representativos da requisição de esforço físico, daqui se retira que, de maneira aproximada, é requisitado esforço físico ao ciclista em cerca de 74,4% do tempo total necessário à realização dos diversos percursos, em ambos os sentidos em análise. É também possível verificar que a diferença entre o valor obtido para o conjunto de percursos P4a, P5a e P6a e para o conjunto de percursos P4b, P5b e P6b é muito diminuta, o que, como se verá mais adiante, indicará que a diferença entre a distribuição temporal pelos diferentes modos BSP é evidenciada entre percursos diferentes e não entre percursos com sentidos diferentes, isto é, a título de exemplo, os percursos P4a e P4b que representam o mesmo percurso mas em sentidos inversos apresentam uma distribuição temporal pelos diferentes modos de BSP muito semelhante, porém, quando se

comparam 2 percursos que possuem trajetos diferentes, por exemplo um P4a e um P5a, aí serão largamente evidenciadas as diferenças entre a distribuição temporal e por isso alvo de análise minuciosa, que se encontrará feita mais à frente.

Pela análise da Figura 58 é possível verificar que os modos 1 e 2 de BSP em conjunto constituem uma elevada representatividade, perfazendo um total de 51,3% do tempo total para os percursos P4a, P5a e P6a e de 51,2% para os percursos P4b, P5b e P6b. Tal como foi referido anteriormente, a variação de valor obtida entre os diferentes sentidos é também muito diminuta, sendo o valor obtido para o conjunto de percursos P4a, P5a e P6a muito semelhante ao obtido para os percursos P4a, P5a e P6a. De notar uma vez mais que as variações entre as distribuições temporais pelos diferentes modos de BSP são notadas entre diferentes percursos e não tanto entre o mesmo percurso, mas com sentidos inversos, daí que a média de valores obtida para cada sentido seja aproximadamente idêntica. Importa também referir que sendo os modos 1 e 2 de BSP, modos que requisitam potências baixas ao ciclista, inferiores a 160 W, é possível concluir que, em termos médios, o ciclista em cada sentido de percurso em análise se desloca com um esforço físico moderado em aproximadamente 51,2% do tempo total necessário à realização dos percursos em estudo.

De notar que no que concerne à representatividade do modo 0 de BSP, que representa situações em que o ciclista se encontra parado, este apresenta uma representatividade de 5,6% para o conjunto de percursos com início na Avenida dos Aliados, e fim nos Jardins do Palácio de Cristal do qual fazem parte os percursos P4a, P5a e P6a e de 5,7% para o conjunto de percursos com início nos Jardins do Palácio de Cristal e fim na Avenida dos Aliados, do qual fazem parte os percursos P4b, P5b e P6b. Porém, apesar de à primeira vista este valor obtido ser muito semelhante, apresentando os percursos P4b, P5b e P6b um valor apenas 0,5% superior ao obtido para os percursos P4a, P5a e P6a, pelo facto do percursos P4b, P5b e P6b apresentarem um tempo médio necessário à sua realização de cerca de 780 segundos, valor este que é 31,7% ao tempo médio necessário para a realização dos percursos P4a, P5a e P6a, que é de aproximadamente 1027,3 segundos, verifica-se que o ciclista em média se encontra parado 58 segundos nos percursos com início na Avenida dos Aliados e fim nos Jardins do Palácio de Cristal e cerca de 44 segundos nos percursos em sentido inversos, o que perfaz uma diferença de aproximadamente 14 segundos, registando-se uma diferença na ordem dos 31% para os tempos de repouso do ciclista entre os diferentes sentido em estudo.

Através da análise da Figura 58 é também possível verificar que para modos de BSP elevados, nomeadamente para $BSP > 4$, a representatividade é relativamente modesta, o que tem origem essencialmente na dificuldade do ciclista em atingir potências elevadas por um longo período, potências essas superiores a 310 W, uma vez que este modo é representativo da presença dessas mesmas potências elevadas durante a realização dos percursos. Para este modo, verifica-se uma representatividade superior em cerca de 0,07% para os percursos P4a, P5a e P6a face ao conjunto de percursos em sentido inverso a estes.

Por fim, é possível constatar que cerca de 20% do tempo necessário à realização dos diversos percursos se encontra distribuído pelos modos negativos de BSP, sendo estes modos representativos de situações de travagem ou desaceleração por parte do ciclista.

Dessarte, com o intuito de fornecer um melhor entendimento ao leitor acerca da distribuição temporal, em termos percentuais, pelos diferentes modos de BSP, apresenta-se em seguida, a Figura 58 onde esta se encontra feita. De notar que para a realização desta figura foram agrupados os dados médios provenientes de dois tipos de conjuntos de percursos distintos, por um lado o conjunto de percurso com início na Avenida dos Aliados e fim nos Jardins do Palácio de Cristal do qual fazem parte os percursos P4a, P5a e P6a, que se encontram representados pelas barras de cor azul, e por outro lado os dados médios provenientes do conjunto de percursos com início nos Jardins do Palácio de Cristal e fim na Avenida dos Aliados, do qual fazem parte os percursos P4b, P5b e P6b, que se encontram representados pelas barras de cor verde.

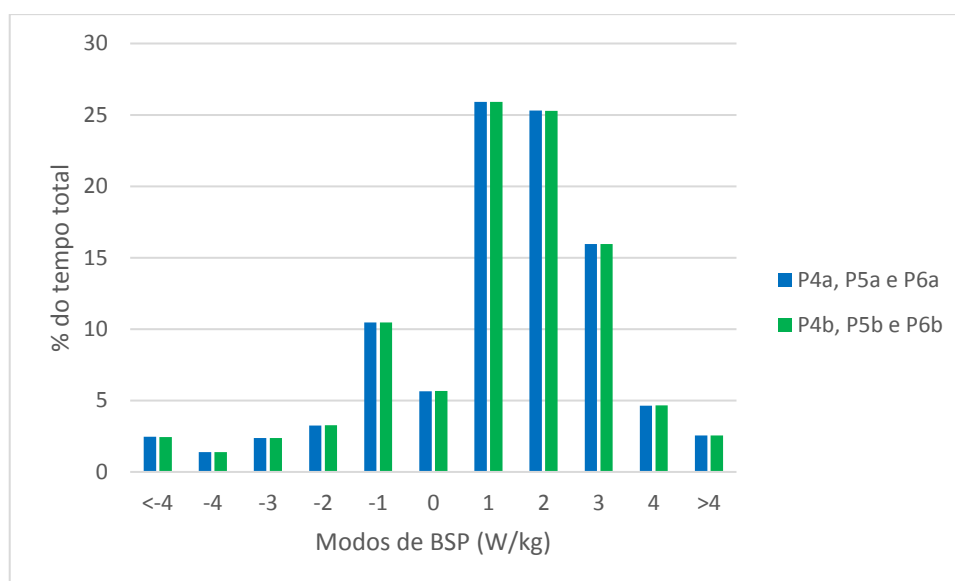


Figura 56 - Distribuição temporal (%) pelos diferentes modos de BSP para a cidade do Porto para percursos com início na Avenida dos Aliados, e término nos Jardins do Palácio de Cristal (P4a, P5a e P6a) a azul e para percursos com o sentido inverso ao anteriormente referido (P4b, P5b e P6b) a verde obtida pelo ciclista 3.

Como foi referido anteriormente, na Figura 58 encontra-se uma distribuição temporal, em termos percentuais, pelos diferentes modos de BSP para os dois conjuntos de percursos com sentidos inversos em estudo, um referente aos percursos P4a, P5a e P6a que têm início na Avenida dos Aliados, e fim nos Jardins do Palácio de Cristal e outro do qual fazem parte os percursos P4b, P5b e P6b, que têm como ponto de partida os Jardins do Palácio de Cristal e destino a Avenida dos Aliados.

Todavia, como seria de esperar, os percursos ainda que realizados no mesmo sentido, apresentam variações significativas no que diz respeito à distribuição temporal pelos diferentes modos de BSP e por conseguinte, de modo a analisar com maior detalhe essas flutuações, serão exibidas de seguida duas figuras de carácter idêntico à Figura 58, onde na primeira será feita uma análise comparativa entre o conjunto de percursos com início na Avenida dos Aliados e fim nos Jardins do Palácio de Cristal do qual fazem parte os percursos P4a, P5a e P6a e na segunda será feita uma análise de cariz idêntico para o conjunto de percursos em sentido inverso, isto é, com início nos Jardins do Palácio de Cristal e fim na Avenida dos Aliados, do qual fazem parte os percursos P4b, P5b e P6b.

Importa referir que a escolha dos percursos a monitorizar na cidade do Porto, tal como foi referido anteriormente, foi devida essencialmente a duas questões fundamentais. A primeira encontra-se relacionada com a proximidade da Estação de Comboios de São Bento da Avenida dos Aliados, que promove um elevado fluxo de pessoas neste local por razões diversas, das quais se destacam questões laborais e de cariz turístico. A escolha do segundo local, os Jardins do Palácio de Cristal, foi devida essencialmente à essência magistral que apresenta este local, dado que fornece uma vista esplendorosa sobre o Rio Douro, Ponte D. Luís I e Ribeira. De notar que a distância entre estes dois locais, a Avenida dos Aliados e os Jardins do Palácio de Cristal, aproxima-se da distância entre os 2 locais escolhidos em Aveiro, isto é, entre a Universidade de Aveiro e a Estação de Comboios de Aveiro, o que permite retirar algumas conclusões não só acerca da diferença temporal registada para realizar as travessias que apesar de apresentarem uma distância semelhante, apresentam níveis de tráfego muito díspares, mas também permite fornecer um conjunto de informações no que concerne à segurança dos ciclistas e à existência ou ausência de locais práticos para a deslocação dos mesmos.

Assim, na Figura 59 surge a distribuição temporal, em modo percentual, pelos diferentes modos de BSP para o conjunto de percursos que têm como ponto de partida a Avenida dos Aliados e como ponto de chegada os Jardins do Palácio de Cristal, do qual fazem parte os percursos P4a, P5a e P6a.

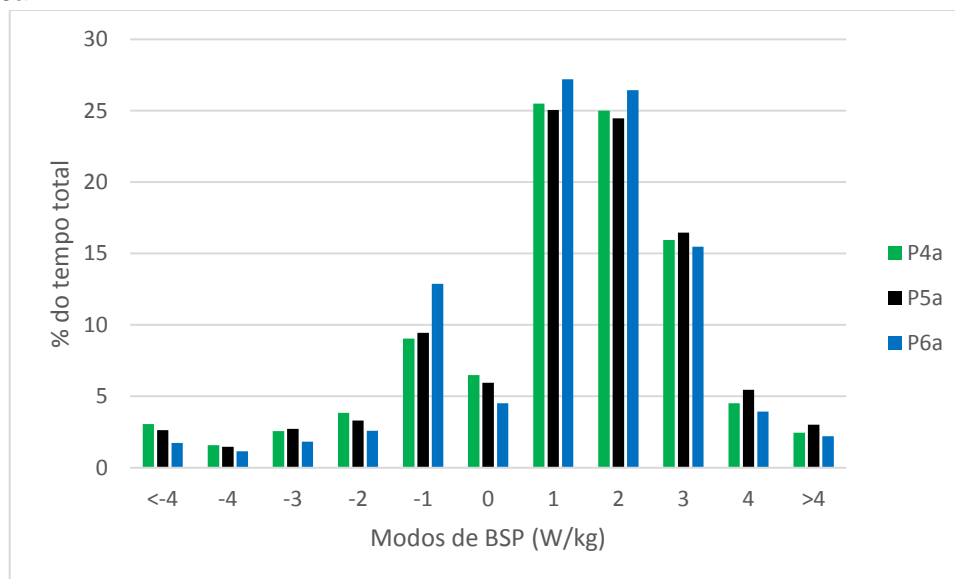


Figura 57 - Distribuição temporal (%) pelos diferentes modos de BSP para os percursos P4a, P5a e P6a obtida pelo ciclista 3.

Pela consulta da Figura 59 é possível observar que os modos positivos de BSP se encontram abundantemente representados para todos os percursos em análise, verificando-se, no entanto, a existência de variações na distribuição temporal pelos diferentes modos positivos de BSP entre os diferentes percursos, que serão analisadas em seguida.

No que se refere à representação dos modos positivos de BSP, é possível verificar que o percurso P6a, percurso que tem como ponto de partida a Avenida dos Aliados e como ponto de chegada os Jardins do Palácio de Cristal, passando pela Igreja da Santíssima Trindade, é aquele que apresenta uma maior representatividade conjunta destes modos, uma vez que estes perfazem 75,3% do tempo associado à realização do percurso, sendo este valor 2,5% superior ao obtido para o percurso P4a, percurso que tem início e fim nos mesmos locais que o anterior, mas que tem passagem pelo Jardim do Carregal, dado que neste a representatividade conjunta destes modos se fica pelos 73,4%. No que diz respeito ao percurso P5a, percurso que tem início, tal como os anteriores, na Avenida dos Aliados, e fim nos Jardins do Palácio de Cristal, mas que passa pelo Jardim da Cordoaria, verifica-se que este apresenta uma representatividade conjunta dos modos positivos de BSP de 74,5%, sendo este valor 1,1% inferior ao obtido para o percurso P6a. Dado que os modos positivos de BSP representam os modos de BSP onde é exigido esforço físico ao ciclista, daqui é possível retirar que é requisitado esforço físico a este em cerca de $\frac{3}{4}$ do tempo associado à realização dos diversos percursos. De notar que pelo facto do percurso P6a ser não só o percurso que apresenta um maior tempo necessário à sua realização, mas também pelo facto de apresenta uma maior representatividade dos modos positivos de BSP, 75,3%, será, por conseguinte, o percurso onde se verificará um maior consumo de energia por parte do ciclista, o que será visto com análise mais adiante por consulta aos dados relativos ao consumo de energia para cada percurso realizado.

No que se refere à representatividade conjunta dos modos 1 e 2 de BSP, é possível verificar que esta tem uma enorme expressão, estando associada a mais de metade do tempo necessário à realização da maioria dos percursos em análise e, pelo facto destes modos serem representativos da requisição de baixas potências ao ciclista, potências inferiores a 160 W, daqui se retira que o

ciclista se desloca maioritariamente a um ritmo moderado, isto é, cerca de 50% do tempo necessário à realização dos percursos é passado nestes modos em que o esforço físico requisitado ao ciclista é moderado, sobrando uma parcela inferior a 25% para regimes onde o esforço físico requisitado é maior, estando esta parcela representada na Figura 59 pela representatividade conjunta dos modos 3, 4 e >4 de BSP que são representativos de potências elevadas. Com efeito, verifica-se que o percurso P6a é aquele que apresenta uma maior representatividade conjunta dos modos 1 e 2 de BSP, dados que estes em conjunto perfazem 53,7% do tempo total associado à realização deste percurso, sendo este valor 8,4% superior ao obtido para o percurso P5a que apresenta uma representatividade conjunta destes modos de 49,5% e 6,3% superior ao valor obtido para o percurso P4a onde se regista uma representatividade conjunta dos modos 1 e 2 de BSP de 50,5%. Deste modo, é possível verificar que para o percurso P6a, percurso que tem início na Avenida dos Aliados e fim nos Jardins do Palácio de Cristal, passando pela Igreja da Santíssima Trindade, dos 75,3% associados ao tempo em que é efetivamente requerido esforço físico ao ciclista, este se desloca em modos elevados de BSP, nomeadamente nos modos 3, 4 e >4 de BSP, em apenas 21,6% do tempo total associado a este percurso, sendo este valor o mais baixo dos 3 percursos em análise, dado que para o percurso P5a, percurso que tem início e fim nos mesmos locais que o anterior, mas que passa pelo Jardim da Cordoaria, o tempo, em termos percentuais, passado nos modos 3, 4 e >4 de BSP é de 25%, sendo este valor 15,3% superior ao obtido para o percurso P6a. Por último, o percurso P4a, percurso que tem início e fim nos mesmos locais que os percursos anteriormente referidos, mas que passa pelo Jardim do Carregal, apresenta uma representatividade conjunta dos modos 3, 4 e >4 de BSP de 22,9%, sendo este valor cerca de 6% superior ao obtido para o percurso P6a. Assim, é possível concluir que embora o percurso P6a seja aquela que exija durante um maior período de tempo, em termos percentuais, esforço físico ao ciclista, é também aquele onde este efetua a sua deslocação a um ritmo moderado durante um maior período de tempo, uma vez que dos 3 percursos em análise, o percurso P6a é aquele onde a representatividade conjunta dos modos elevados de BSP, nomeadamente dos modos 3, 4 e >4 de BSP, isto é, dos modos onde são requeridas potências elevadas ao ciclista, é menor.

No que concerne ao modo 0 de BSP que representa situações em que o ciclista se encontra parado, verifica-se que o percurso P4a é aquele que apresenta uma maior representatividade deste parâmetro, tendo associado 6,5% do tempo total necessário à sua realização a este modo de BSP, sendo este valor 9,3% superior ao obtido para o percurso P5a, onde a representatividade do modo 0 de BSP é de cerca de 6% e 43,7% superior ao registado para o percurso P6a onde se regista uma representatividade deste modo de 4,5%. Deste modo, embora o percurso P4a seja aquele que necessita de um menor tempo necessário para a sua realização, cerca de 1016 segundos, pelo facto da representação deste modo ser muito superior à dos restantes percursos em estudo, verifica-se que o percurso P4a é aquele onde o ciclista se encontra parado durante um maior período, sendo este de aproximadamente 66 segundos, valor que é 8,2% superior ao obtido para o percurso P5a, que embora possua um tempo de realização de cerca de 1026 segundos, pelo facto de apresentar uma menor representatividade do modo 0 de BSP, permite concluir que o ciclista se encontra em repouso em aproximadamente 61 segundos dos 1026 segundos associados à realização do percurso. Por último, verifica-se que o percurso P6a é aquele onde o ciclista se encontra durante um menor período parado, sendo este de aproximadamente 47 segundos nos 1040 segundos totais associados à sua realização integral, valor que é sensivelmente 40% inferior ao registado para o percurso P4a, percurso onde se regista o maior período de paragem por parte do ciclista. De notar que os tempos de paragem associados a todos os percursos resultam maioritariamente da existências de semáforos em todos eles, sendo que para as medições do ciclista 3, o facto de o período de repouso do percurso P6a ser significativamente inferior ao obtido para os restantes percursos tem origem no facto de o ciclista aquando da realização deste percurso ter apanhado sinal verde no semáforo perto das instalações da AMP, Área Metropolitana do Porto, na Avenida dos Aliados e no final da Rua de Camões, próximo das instalações do DIAP, tendo conseguido um

ganho significativo no que diz respeito ao tempo necessário à realização da viagem e consequentemente no que concerne ao tempo de paragem observado durante a realização desta travessia.

No que se refere ao modo $BSP > 4$, verifica-se que este modo apresenta uma representatividade algo modesta nos 3 percursos em estudo, embora se verifiquem flutuações significativas na sua representação de percurso para percurso. Com efeito, o percurso P6a é aquele que apresenta um menor tempo, em termos percentuais, despendido neste modo, 2,2%, sendo este valor 36,6% inferior ao obtido para o percurso P5a, no qual se regista um valor de 3% e 11,3% inferior ao obtido para o percurso P4a, onde o tempo despendido neste modo de BSP é de 2,5%. Deste modo, tal como já foi mencionado anteriormente, o percurso P6a, percurso que tem como início a Avenida dos Aliados e como destino os Jardins do Palácio de Cristal, passando pela Igreja da Santíssima Trindade, é aquele que permite ao ciclista, deslocar-se durante um maior período de tempo, em termos percentuais, num regime moderado de esforço físico, uma vez que é o que apresenta a menor representatividade dos modos elevados de BSP , isto é, de modos que requerem elevado esforço físico, apresentando nomeadamente uma menor representatividade do modo $BSP > 4$ que é o modo mais exigente relativamente ao esforço físico, sendo representativo de potências muito elevadas, superiores a 310 W. Verifica-se que o registo do modo $BSP > 4$ para o percurso P6a se dá sobretudo na Rua da Trindade, onde se encontra localizada a Igreja da Santíssima Trindade e na Rua de Camões, devido à acentuada inclinação que estas possuem que, por conseguinte, requerem ao ciclista um elevado esforço físico. Por oposição a este, surge o percurso P5a que apresenta os mesmos pontos de partida e de chegada que o percurso P6a mas que tem passagem pelo Jardim da Cordoaria, uma vez que este é o percurso que em termos percentuais, apresenta uma maior representatividade do modo $BSP > 4$, sendo portanto aquele que requer durante um maior período de tempo, tal como visto anteriormente pela representatividade conjunta de modos de BSP elevados para este percurso, esforço físico elevado ao ciclista, sendo este requerido essencialmente na Rua de São Filipe de Nery onde se encontra situada a Torre dos Clérigos e na Rua Jorge de Viterbo Ferreira, onde se encontra o Instituto de Ciências Biomédicas Abel-Salazar, devido à acentuada inclinação que estas vias apresentam, que têm como consequência um aumento da requisição de esforço físico ao ciclista, que se reflete no aumento da representatividade do modo de $BSP > 4$ face aos restantes percursos em estudo. Entre estes percursos, situa-se o percurso P4a, que possui passagem pelo Jardim do Carregal e que apresenta uma representatividade do modo $BSP > 4$ de 2,5%, valor que se encontra em conformidade com o anteriormente referido relativamente à representatividade conjunta dos modos elevados de BSP , dado que este percurso também apresenta um valor intermédio na representatividade dos modos 3, 4 e > 4 de BSP . Para o percurso P4a, verifica-se que a representatividade do modo $BSP > 4$ tem sobretudo origem na Rua de Elísio de Melo, Rua de Ceuta e Praça Guilherme Gomes Fernandes devido à acentuada inclinação que estas apresentam que tem como seria expectável repercussões negativas no esforço físico requerido ao ciclista, uma vez que o aumenta. Importa ainda referir que a modesta representação do modo de $BSP > 4$ se prende essencialmente com o facto de este estar ligado a potências elevadas, sendo estas superiores a 310 W, valores que são difíceis de atingir por um longo período por ciclistas não profissionais.

Por último, no que concerne à representatividade conjunta dos modos negativos de BSP , pode afirmar-se que o percurso P6a é aquele que apresenta um maior tempo, em termos percentuais, associado a estes, apresentando um valor de 20,2%, sendo este apenas 0,6% superior ao obtido para o percurso P4a, onde a representatividade conjunta destes modos é de 20% e 3,1% superior ao valor obtido para o percurso P5a onde se regista uma representatividade conjunta destes modos de 19,6%. Pelo facto dos modos negativos de BSP serem representativos de situações de travagem ou desaceleração por parte do ciclista, verifica-se que o percurso P6a, percurso que tem passagem pela Igreja da Santíssima Trindade, é aquele que possui um maior tempo despendido, em termos percentuais neste modo, sendo que este não é tanto devido a

situações de travagem, dado este percurso ser, dos 3 em análise, aquele que apresenta menor densidade de tráfego, tal como será visto mais adiante, mas sim devido a situações de desaceleração causadas pela fadiga que este incute ao ciclista, que deste modo aproveita pequenos troços do percurso para abrandar o seu ritmo e até mesmo deixar de pedalar, aproveitando a inclinação da via, com o intuito de recuperar algum fôlego, dado este ser o percurso que apresenta uma maior extensão e por conseguinte um maior tempo necessário à sua realização. Estas desacelerações intencionais para recuperação de fôlego têm especial destaque na Rua dos Mártires da Liberdade e Rua dos Bragas. Por outro lado, as desacelerações progressivas devido à inclinação da via estão também presentes em alguns locais onde se apresentam subidas acentuadas, que provocam uma desaceleração progressiva ao ciclista, sendo exemplo disso locais como a Rua da Trindade onde se encontra localizada a Igreja da Santíssima Trindade e a Rua de Camões onde se encontram as instalações do DIAP.

No que diz respeito à representatividade conjunta dos modos de BSP para o percurso P4a, verifica-se que esta é devida a travagens que o ciclista tem de realizar de forma repentina e inesperada, sendo consequência de uma condução brusca e perigosa por parte de alguns automobilistas e autocarros. Estas têm lugar na Rua de Ceuta, Praça Guilherme Gomes Fernandes e Rua de Dom Manuel II, em que na primeira Rua se dá o registo de manobras perigosas devidas essencialmente à mudança de sentido sem efetuar a devida sinalização e a ultrapassagens tangentes, isto é, com muito pouca distância entre o carro e o ciclista. No que diz respeito à presença de autocarros, esta é encontrada com maior relevância na Praça Guilherme Gomes Fernandes e Rua de Dom Manuel II, onde se observa que o perigo subjacente a estes é sobretudo verificado quando estes arrancam de forma repentina das paragens de autocarro existentes nas ruas anteriormente referidas sem sinalizarem a sua intenção através de pisca nem olharem para o tráfego que já circula na via onde querem ingressar. Para o percurso P4a uma parte significativa da representatividade conjunta dos modos negativos de BSP encontra-se ligada a desacelerações progressivas na subida Rua de Elísio de Melo que é seguida da subida pela Rua de Ceuta, o que devido à acentuação que apresentam provocam uma diminuição continua da velocidade de deslocação do ciclista. De notar ainda que a passagem do metro pelas Rua de Elísio de Melo, seguida da Rua de Ceuta, da Rua de José Falcão e Praça Guilherme Gomes Fernandes devido ao facto de provocar uma maior densidade de tráfego e perigo iminente ao ciclista por encurtar o espaço para este circular, revela-se também uma dificuldade que é colmata pelo ciclista através de uma redução de velocidade e da realização de travagens mais ou menos frequentes que também contribuem para a representatividade conjunta dos modos negativos de BSP. Por último, no percurso P5a, a representatividade conjunta dos modos negativos é devida a situações de desaceleração causadas pela existência de subidas acentuadas, das quais se pode destacar a subida da Rua de São Filipe de Nery onde se situa a Igreja dos Clérigos e a subida da Rua Jorge de Viterbo Ferreira, onde se encontra localizado o Instituto de Ciências Biomédicas Abel-Salazar, sendo que se encontra alguma percentagem associada a situações de travagem, nomeadamente na Rua Campo dos Mártires da Pátria, sendo esta devia à elevada densidade de tráfego que esta via apresenta e na Rua da Restauração, sendo que nesta última, essa representatividade destes modos é devida à necessidade de travagem não só para os semáforos aí localizadas mas também à passagem do metro nessa rua.

Em seguida, de modo análogo ao apresentado anteriormente na Figura 59, apresenta-se a Figura 60 onde se encontra a distribuição temporal em modo percentual pelos diferentes modos de BSP para o conjunto de percursos com início nos Jardins de Palácio de Cristal e fim na Avenida dos Aliados, do qual fazem parte os percursos P4b, P5b e P6b.

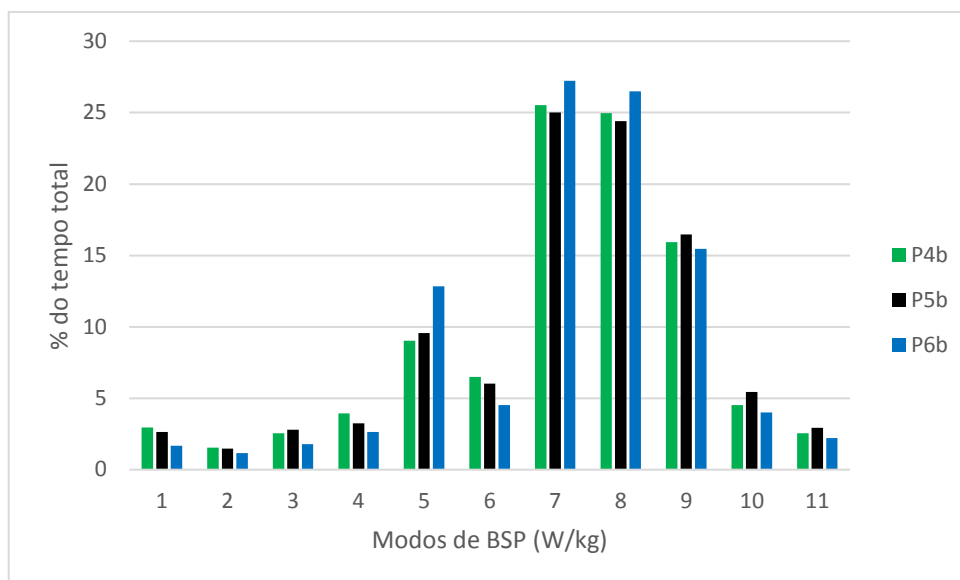


Figura 58 - Distribuição temporal (%) pelos diferentes modos de BSP para os percursos P4b, P5b e P6b, obtida pelo ciclista 3.

Pela análise da Figura 60 é possível constatar que a representatividade conjunta dos modos positivos de BSP apresenta um valor muito elevado para todos os percursos em análise, embora existam flutuações nas representatividades em determinados modos entre os diferentes percursos e por conseguinte se realizará uma análise detalhada que será exibida em seguida.

No que se refere à representatividade conjunta dos modos positivos de BSP, é possível verificar pela análise da Figura 60 que o percurso P6b, percurso que tem como ponto de partida os Jardins do Palácio de Chegada e como ponto de chegada a Avenida dos Aliados, passando pela Igreja da Santíssima Trindade, é aquele que apresenta uma maior representatividade conjunta destes modos, apresentando um tempo total associado a estes, em termos percentuais, de 75,4%, valor que é 2,6% ao obtido para o percurso P4a, percurso que tem os mesmos pontos de partida e chegada que o anterior, mas que tem passagem pelo Jardim do Carregal, dado que este regista um tempo despendido nestes modos, na forma percentual, de 73,5% e 1,5% superior ao obtido para o percurso P5a, percurso que tem início e fim nos mesmos locais que os percursos anteriores, mas que passa pelo Jardim da Cordoaria, dado que neste o tempo, em modo percentual, associado à representatividade destes modos é de 74,3%. Uma vez que os modos positivos de BSP representam os modos de BSP onde é exigido esforço físico ao ciclista, daqui é possível retirar que a este é requisitado esforço em aproximadamente $\frac{3}{4}$ do tempo necessário à realização dos diversos percursos em análise. De notar ainda que pelo facto do percurso P6b ser não só o percurso que apresenta o maior tempo necessário à sua realização, mas também aquele onde a representatividade conjunta destes modos é maior, o que permite concluir que este percurso será aquele a que estará associado um maior valor de consumo de energia por parte do ciclista, sendo que esta conclusão será abordada com maior detalhe mais à frente, onde se apresentarão os consumos totais de energia associados a cada percurso realizado.

No que concerne à representatividade conjunta dos modos 1 e 2 de BSP é possível verificar que esta corresponde a substancialmente metade do tempo necessário para a realização dos diversos percursos e, pelo facto destes modos representarem baixas potências, inferiores a 160 W, daqui se retira que o ciclista se desloca grande parte do tempo em que lhe é requerido esforço físico, num regime moderado, uma vez que dos cerca de 75% associados à requisição de esforço físico ao ciclista, cerca de 50% é passado nos modos 1 e 2 de BSP, restando apenas aproximadamente 25% para modos de BSP elevados, nomeadamente para os modos 3, 4 e >4 de BSP que são representativos da requisição de potências mais elevadas ao ciclista. Pela análise dos dados é

possível verificar que o percurso P6b, percurso que tem início nos Jardins do Palácio de Cristal e fim na Avenida dos Aliados, passando pela Igreja da Santíssima Trindade, é aquele que apresenta uma maior representatividade deste modos, uma vez que estes em conjunto perfazem 53,7% do tempo necessário à realização da viagem, sendo este valor 8,8% superior ao obtido para o percurso P5b, percurso que tem início e fim nos mesmos locais que o percurso anteriormente referido, mas que passa pelo Jardim da Cordoaria, dado que este apresenta um tempo, em modo percentual, associado a estes modos de 49,4% e 6,4% superior ao obtido para o percurso P4b, percurso que tem como pontos de partida e chegada os mesmos que o anterior, mas que passa pelo Jardim do Carregal, onde se verifica uma representatividade conjunta dos modos 1 e 2 de BSP de 50,5%. Deste modo, verifica-se que para o percurso P6b, dos 75,4% associados à requisição de esforço físico ao ciclista, apenas 21,7% do tempo é passado em modos elevados de BSP, nomeadamente nos modos 3, 4 e >4 de BSP, sendo este valor 14,7% inferior ao obtido para o percurso P5b, percurso que passagem pelo Jardim da Cordoaria, onde a representatividade conjunta dos modos 3, 4 e >4 de BSP perfaz um total de 24,9% e 6,1% inferior ao valor obtido para o percurso P4b, percurso que tem passagem pelo Jardim do Carregal, onde a representatividade conjunta dos modos 3, 4 e >4 de BSP foi de 23%. Assim, daqui se conclui que embora o percurso P6b seja aquele que exija durante um maior período de tempo, em termos percentuais, esforço físico ao ciclista, é também o percurso onde este se desloca num regime moderado, isto é, nos modos 1 e 2 de BSP, durante um maior período de tempo, uma vez que o percurso P6b é aquele que apresenta uma menor representatividade conjunta dos modos elevados de BSP, nomeadamente dos modos 3, 4 e >4 de BSP, face aos restantes percursos em estudo.

No que concerne ao modo 0 de BSP que é representativo de situações em que o ciclista se encontra parado, verifica-se que o percurso P4b é aquele que em termos percentuais apresenta um maior tempo associado a este modo, perfazendo 6,5% do tempo total associado à realização do percurso, valor que é 7,6% superior ao obtido para o percurso P5b, onde a representatividade deste modo é de 6% e 43,5% superior ao valor obtido para o percurso P6b, onde a representatividade do modo 0 de BSP se fica pelos 4,5%. Assim, apesar de percurso P4b ser aquele que apresenta um menor tempo necessário à sua realização, cerca de 709 segundos, devido ao facto de possuir uma representatividade do modo 0 de BSP muito superior à dos restantes percursos é por conseguinte o percurso onde o ciclista se encontra parado durante um maior período de tempo, sendo este de aproximadamente 46 segundos, valor que é 12,2% superior ao obtido para o percurso P5b que apresenta um período de paragem de 41 segundos no total de 680 segundos associados à sua realização e 7% superior ao valor obtido para o percurso P6b onde se regista um período de paragem de aproximadamente 43 segundos nos 951 segundos associados à realização deste percurso.

No que se refere ao modo BSP>4, verifica-se que este apresenta uma representatividade modesta em todos os percursos em análise, sendo, no entanto, possível a observação de flutuações na sua representatividade de percurso para percurso. Pela análise da Figura 60 é possível constatar que o percurso P6b é aquele que apresenta uma menor representatividade deste modo, estando este modo associado a 2,2% do tempo total necessário à realização deste percurso, sendo este valor 33,2% inferior ao obtido para o percurso P5b, onde o tempo despendido neste modo é de cerca de 2,9% do tempo total necessário à realização do percurso e 15,9% inferior ao valor obtido para o percurso P4b, no qual o tempo associado a este modo é de 2,5%. Deste modo, tal como foi referido anteriormente, o percurso P6b, percurso que tem início nos Jardins do Palácio de Cristal e fim na Avenida dos Aliados, passando pela Igreja da Santíssima Trindade, é aquele que permite ao ciclista se deslocar de forma suave durante um maior período de tempo, em termos percentuais, dado que a representatividade dos modos elevados de BSP, isto é, de modos que são representativos de elevados esforço físico, é menor relativamente aos restantes percursos em estudo. Assim, para o percurso P6b, é possível verificar que os principais troços que contribuem para a representatividade do modo BSP>4 são a Rua da Boa Nova e posteriormente a Rua da

Maternidade, onde se encontra situada a Maternidade Júlio Dinis, que devido à acentuada inclinação que apresentam, requerem ao ciclista um maior esforço físico, isto é, uma potência mais elevada de circulação, o que se traduz na representação deste modo. De notar que também a Rua dos Bragas onde se localiza a Faculdade de Direito da Universidade do Porto registou uma distribuição elevado do modo BSP>4, sendo esta devida uma vez mais à acentuada inclinação que esta via possui. No que se refere ao percurso P5b, os registos do modo BSP>4 dão-se essencialmente na Rua da Restauração, sendo também visível a sua representação na Rua Campo dos Mártires da Pátria, sobretudo devido à inclinação que apresentam e pressão exercida pelos automobilistas sobre o ciclista para que este execute a sua deslocação da forma mais célere possível, o que desencadeia um aumento do esforço físico enormíssimo que tem reflexão na representatividade deste modo. Por último, para o percurso P4b, o registo do modo BSP>4 é visível no final da Rua Dom Manuel II e posteriormente na Rua Dr. Tiago de Almeida, sendo este registo devido essencialmente à necessidade de deslocação de forma célere devido à situação caótica que estas vias apresentam no que concerne à densidade de tráfego, sendo estes locais que provocam uma enorme insegurança ao ciclista. Importa ainda referir que, a representação algo diminuta este modo face aos restantes em análise, é devida sobretudo ao facto deste modo estar associado a elevadas potências, sendo estas superiores a 310 W, valores que são difíceis de atingir por um longo período por ciclistas não profissionais.

Por fim, no que diz respeito à representatividade conjunta dos modos negativos de BSP, é possível concluir-se que o percurso P6b é aquele que apresenta um maior valor, 20%, sendo este apenas 0,3% ao observado para o percurso P4b que apresenta um tempo associado a estes modos de 20% e 1,9% superior ao obtido para o percurso P5b onde se regista um valor de 19,7%. Dado que os modos negativos de BSP correspondem a situações de travagem ou desaceleração por parte do ciclista, verifica-se que o percurso P6b, percurso que tem início nos Jardins do Palácio de Cristal e fim na Avenida dos Aliados, passando pela Igreja da Santíssima Trindade, é aquele que apresenta um maior tempo, em termos percentuais, passado nestes modos, sendo que esta representação não é tanto devida a situações de travagem, à exceção da travagem brusca no final da Rua de Camões que devido à acentuada inclinação que apresenta na descida e pela existência de um semáforo no seu final, faz com que o ciclista seja obrigado a travar bruscamente devido ao facto de atingir uma velocidade elevada nesta via, dado que este percurso de todos em análise é aquele que apresenta uma menor densidade de tráfego como veremos mais adiante, mas a representatividade destes modos é devida a situações de fadiga que têm origem na realização de subidas acentuadas que se registam ao longo da extensão do percurso, nomeadamente da subida da Rua da Boa Nova que é seguida da Rua da Maternidade onde se localiza a Maternidade Júlio Dinis, uma vez que ambas apresentam uma inclinação considerável que provoca uma desaceleração progressiva do ciclista, sendo também notória a desaceleração progressiva registada na Rua dos Bragas onde se localiza a Faculdade de Direito da Universidade do Porto, sendo esta não só devida à inclinação que a via apresenta mas sim ao acumular de cansaço no ciclista, o que se reflete numa diminuição progressiva da sua velocidade de deslocação e que contribui para a representatividades destes modos de BSP. No caso do percurso P4b, a representatividade conjunta dos modos negativos de BSP tem origem nas desacelerações registadas nas Ruas de Elísio de Melo e de Ceuta, devido não só à acentuada inclinação que apresentam, mas também pelo facto de apresentarem uma elevada densidade de tráfego e passagem de metro, que provoca maior instabilidade e insegurança ao ciclista que se vê obrigado a realizar travagens com maior frequência devido à condução perigosa que alguns automobilistas e motoristas de autocarro apresentam. De notar que na Praça Guilherme Gomes Fernandes e Rua de Dom Manuel II, a representatividade dos modos negativos de BSP tem origem não só nas travagens efetuadas devido à paragem obrigatória pela existência de semáforos nestes locais, mas também nas travagens que o ciclista tem de realizar de forma repentina e brusca devido à falta de sinalização da intenção de mudança de sentido por parte dos automobilistas bem como pelo descuido a arrancar das paragens de autocarro por parte dos motoristas que não

verificam se alguém já circula na via onde querem ingressar nem muito menos sinalizam através de pisca a sua intenção de entrar na mesma. Por fim, para o percurso P5b a representatividade conjunta dos modos negativos de BSP deve-se essencialmente a situações de desaceleração progressiva devidas à acentuada inclinação que apresentam as subidas das Ruas da Restauração e Campo dos Mártires da Pátria. Para este percurso também se verifica alguma representatividade destes modos devido a situações de travagem pela existência de semaforização na Rua Campo dos Mártires e verifica-se uma travagem relativamente prolongada realizada ao longo da descida da Rua de São Filipe de Nery, onde se situa a Torre dos Clérigos, que devido não só à acentuada inclinação que apresenta mas também pelo facto de possuir uma densidade de tráfego elevadíssima, apresentar um piso em calçada portuguesa o que dificulta a travagem por parte do ciclista e devido à passagem do metro, contribui de forma importante para a representatividade destes modos, uma vez que o ciclista executa uma travagem progressiva aproximadamente durante toda a sua extensão.